ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS DE GRADO

INFLUENCIA DEL DEFASAJE ANGULAR EN MANIOBRAS DE SINCRONIZACION DE SISTEMAS DE POTENCIA

.

Tesis previa a la obtención del Título de INGENIERO ELECTRICO

ESPECIALIDAD DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

NELSON EDUARDO URRESTA BURBANO

1992

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo ha sido desarrollado en su totalidad por el Señor Nelson Eduardo Urresta Burbano.

ING. GABRIEL ARGUELLO R.

DEDICATORIA

.

.

¢

.

A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Gabriel Argüello, por su acertada dirección durante el desarrollo de la Tesis.

Al Ingeniero Max Molina, por su invalorable apoyo en la realización del trabajo.

RESUMEN

Dado el hecho del cierre del anillo de 230 KV del SNI y del conocimiento de que sincronizaciones con defasajes angulares grandes, provocan torques elevados a los ejes de las máquinas sincrónicas, se requiere estudiar las mejores condiciones bajo las cuales se llevaría a efecto la primera interconexión del anillo y sus efectos en la fatiga de los ejes de las Turbinas-Generadores. Además, ante diversas circunstancias de que el anillo se abra, buscar las mejores situaciones de operación para su resincronización.

Un estudio de Flujos de Potencia determina los defasajes angulares de las barras de sincronización, los niveles de voltaje en los diferentes puntos del sistema y el estado de generación de las unidades, el análisis de los resultados determina los sitios y demandas más convenientes para la realización de la maniobra de sincronización.

El programa de Estabilidad Transitoria simula la maniobra de sincronización y entrega los datos de las variaciones de potencia mecánica y eléctrica, que se traducen en torques en (pu) a los ejes de las máquinas. De la misma forma, un análisis nos permite obtener los valores máximos de estos torques, que producen la fatiga.

Para la estimación cuantitativa del porcentaje de pérdida de vida útil se emplea un método de cálculo de fatiga, que los Torques y los esfuerzos sobre los relaciona ejes. El método, a pesar de que realiza muchas aproximaciones y que no toma en cuenta algunos factores de fatiga en los materiales de los ejes, constituirá un parámetro a tomarse en cuenta en los trabajos de ingeniería de Operación y Planificación de Sistemas de Potencia y en el mantenimiento de los equipos. El procedimiento aquí planteado, puede generalizarse además, para investigar los efectos de fatiga a los ejes, provocados por otros tipos de perturbaciones, que se presentan con relativa el SNI, como cierre de frecuencia en líneas, despeje y recierre de fallas, etc.

INDICE

Página

INTRODUCCION

CAPITULO 1

CAPITULO 2 DESCRIPCION DE ALGUNOS FENOMENOS QUE PROVOCAN ESFUERZOS TORSIONALES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS

2.1	Cierre Normal de líneas	4
2.2	Recierre de Fallas Línea - Tierra	6
2.3	Recierre de fallas Trifásicas	11
2.4	Despeje de fallas Trifásica	14
2.5	Sincronización	15
2.6	Comparación de los Efectos de las	
	diferentes maniobras	17

CAPITULO 3 TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS

SINCRONICAS DURANTE SINCRONIZACION -

METODOS DE SIMULACION Y ANALISIS DE FATIGA

3.1	Torques al eje durante sincronización	
	Fuera de fase	20
3.2	Descripción del Proceso de Fatiga	27
з.	2.1 Modelo específico de fatiga	33

CAPITULO 3CONTINUACION P	ágina
3.3 Representación del Generador y del	
Eje del sistema	36
3.3.1 Representación del Generador	36
3.3.2 Representación del eje de la	
Turbina-Generador	36
3.4 Efecto de algunos parámetros del Sistema	
en la reducción de fatiga del eje	37
3.4.1 Reducción de fatiga como función de la	
constante de inercia del Generador	38
3.4.2 Reducción de fatiga como función de la constante	
de inercia del eje Generador-Excitatriz	38
3.4.3 Efecto de las reactancias Transitorias	
X'a y Subtransitorias X´´a	39
3.4.4 Reducción de fatiga como función de la	
reactancia de la Línea de Transmisión	40
CAPITULO 4 ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA DEL	
SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO	
4.1 Configuración del SNI y datos generales	44
4.2 Criterio Utilizados para realizar	
el estudio	44
4.3 Flujos de Potencia con el anillo de	
230 KV abierto	45
4.3.1 Flujos de Potencia del SNI Casos Base	47
4.3.1.1 Demanda Máxima	47

ii

CAPITULO 4		CONTINUACION	۹	Pa	ágina
4.3.1.2 Dem 4.3.1.3 Dem	nanda Media. manda Mínima	1		 	47 48
4.3.2 Flujos 230 KV 4.4 Flujos de	de Potencia abierto en Potencia De	a con el ani diferentes p espués de la	llo de puntos		50
Sincroniza	ación			• • • • •	54
4.5 Análisis d	le resultado	8	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		54
4.5.1 Results	dos de los	Casos Base.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• • • • •	54
4.5.2 Sincror del ani	lización en .llo de 230	diferentes p KV del SNI	puntos		57

iii

CAPITULO 5 ANALISIS DE LOS TORQUES PROVOCADOS POR LA MANIOBRA DE CIERRE DEL

ANILLO DE 230 KV DEL SNI

5.1 Modelación de los elementos del SNI

para el estudio de Estabilidad	58
5.1.1 Modelo de la Máquina Sincrónica	58
5.1.2 Sistema de Excitación	60
5.1.3 Motor Primario	60
5.1.3.1 Turbina Hidráulica	60
5.1.3.2 Turbina a vapor	61
5.2 Análisis de Estabilidad del SNI	61
5.2.1 Criterios utilizados para realizar	
el estudio	61

	CAPITULO 5	CONTINUACION	Página
--	------------	--------------	--------

	5.2.2	Estabilidad del SNI debido a la SNI	
		sincronización del anillo de 230 KV	62
	5.2.3	Estabilidad del SNI debido al Recierre	62
5	.3 Tor	rques a los ejes de las máquinas del SNI	63
	5.3.1	Simulación de la sincronización para	
		efectos del estudio de Estabilidad	63
	5.3.2	Torques a los ejes de las máquinas	
		sincrónicas del SNI debido a la	
		Sincronización	65
	5.3.3	Torques a los ejes de las máquinas	
		sincrónicas del SNI debido al Recierre	68
5	.4 Ana	álisis de resultados	70
	5.4.1	Torques debido a los Casos Base	70
	5.4.2	Torques provocados por la	
		sincronización en diferentes puntos	
		del anillo de 230 KV del SNI	74
	5.4.3	Torques provocados por el Recierre	74
	5.4.4	Observaciones Generales	75

CAPITULO 6 ESTIMACION DE PERDIDA DE VIDA UTIL DE LAS UNIDADES DEL SNI

6.1	Método de cálculo de fatiga de los	
	ejes de las máguinas sincrónicas	77
6.2	Aplicación del método a las máguinas	
	del SNI	79
6.3	Análisis de resultados	80
6.3	3.1 Observaciones Generales	83
6.4	Guía para minimizar efectos peligrosos	
	debidos a operaciones de cierreplaneadas	
	en estado estable	84
6.4	4.1 Definiciones	84
6.4	4.2 Procedimiento para evaluar un evento	
	de cierre-apertura en estado estable	85
6.4	4.3 Información requerida para evaluar	
	los posibles efectos de un evento	
	de cierre-apertura	86
CAPIT	TULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	87
7.2	Recomendaciones	90

v

ANEXO A: Diagramas unifilares y geográfico del SNI.

- ANEXO B: Demandas, factores de potencia de las empresas interconectadas y Programación de Generación de las Unidades del SNI.
- ANEXO C: Voltaje y generación de las unidades del SNI previos a la sincronización del anillo de 230 KV.
- ANEXO D: Torques a los ejes de las máquinas Sincrónicas debido a la primera sincronización (Casos Base) y en los diferentes puntos recomendados, del anillo de 230 KV del SNI.
- ANEXO E: Diagramas Torque vs. Tiempo de los resultados del ANEXO D.
- ANEXO F: Torques máximos a los ejes de las máquinas del SNI debido a la maniobra de sincronización.

..... CONTINUACION

- ANEXO G: Diagramas fasoriales y Ecuaciones de la máquina Sincrónica. Diagramas de bloque de los Motores Primarios y de la Excitatriz, del programa de Estabilidad.
- ANEXO H: Curvas estimativas de fatiga: Torque vs. Número de ciclos para la falla de los ejes de las Unidades del SNI. Resultados de fatiga.

.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Dadas las características longitudinales del SNI, con un parque generador alejado de los principales centros de consumo, y ante el hecho del cierre del anillo de 230 KV, es necesario analizar o investigar la influencia que en maniobras de sincronización, tiene la diferencia angular entre los puntos a conectar.

Se conoce de las referencias consultadas, que ejes de turbinas térmicas, se torcieron o fracturaron durante sincronizaciones, sin daño al bobinado del estator por corrientes excesivas, lo cual llevó a estudiar las condiciones de operación el instante de la maniobra, encontrándose que el defasaje angular a los terminales del disyuntor abierto, el instante de la sincronización, era elevado y que los torques resultantes eran del orden o mayores a aquellos provocados durante falla trifásica a los terminales de la máquina. [ref. 2].

El anillo de 230 Kv del SNI está conformado por los tramos de dos circuitos Sta. Rosa - Sto. Domingo, Sto. Domingo -Quevedo, Quevedo - Pascuales, Pascuales - Milagro, Milagro -Paute y Sta. Rosa Totoras, y de un circuito los tramos Paute -Riobamba, Paute - Totoras y Totoras - Riobamba. Actualmente (Marzo/92) el anillo está por cerrarse entre Paute - Riobamba, hecho que constituye la primera sincronización.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El principal objetivo del trabajo es determinar la influencia del defasaje angular y de los torques que se presentan en maniobras de sincronización y recierre de Sistemas de Potencia, sobre la vida útil de los ejes de las máquinas sincrónicas.

Como efecto del defasaje en estas maniobras, se producen torques a los ejes, los que a su vez resultan en determinada fatiga en éstos, disminuyendo la vida útil de la máquina.

Mediante las curvas estimadas de fatiga de los materiales de los ejes de las unidades del SNI, se pretende proveer de un elemento consultivo que sirva en la identificación de estrategias para planificación y operación de maniobras en estado estable, y en la programación del mantenimiento de las unidades y de los equipos del Sistema de Potencia.

Además, se espera, que el trabajo aquí realizado, despierte interés en el estudio de los efectos en la disminución de vida útil de los diferentes componentes de un Sistema de Potencia, provocado por diferentes operaciones en estado estable o por fenómenos no planeados en la red. La pérdida de vida útil hace que las empresas se vean abocadas a la adquisición de repuestos o de unidades completas; si se realiza una operación conveniente de éstos y se les da un buen mantenimiento, se pueden ahorrar ingentes recursos económicos.

1.3 ALCANCE

El estudio está orientado a las operaciones de sincronización en el anillo de 230 KV del SNI ecuatoriano y sus efectos en las principales máguinas de INECEL.

Analiza las diferentes posibilidades de la primera sincronización del anillo en los tramos Paute - Riobamba y Paute - Totoras, para los tres tipos de demanda.

Una vez cerrado el anillo, el sistema opera en otras condiciones, con las dos nuevas líneas de los tramos señalados; bajo estas condiciones, se puede dar el caso de que el anillo se abra en cualquiera de sus puntos, por lo cual es necesario hacer que el sistema encuentre su punto de

funcionamiento estable, para proceder a buscar las nuevas condiciones favorables para la resincronización.

Cabe indicar que el estudio no toma en cuenta la entrada en funcionamiento de una parte de la fase C de Paute, ya que el mismo se efectúa para el período de Julio/91, fecha inicialmente programada para la primera sincronización, sin que en ese momento haya estado lista la entrada en funcionamiento de esta etapa.

En el análisis de Estabilidad, lo que más interesa, es conocer los torques máximos producidos por la sincronización. Por lo tanto no se realizan observaciones profundas sobre otros parámetros como, corrientes, frecuencia, voltajes, ángulos durante el transitorio.

Más que los resultados cuantitativos que se ponen a consideración, de la estimación de fatiga a los ejes causada por los torques, es interesante el aspecto cualitativo del proceso de fatiga a que están sometidas las partes de un sistema de potencia.

El trabajo no pretende limitar las operaciones en estado estable del Sistema, sino que considera que previamente se debe hacer un análisis de las mejores posibilidades de realización de éstas. No influye en los fenómenos no programados, tales como fallas, pero pretende servir para el análisis de los efectos que éstos conllevan a la disminución de la vida útil de los ejes de las máquinas.

Tampoco el trabajo presenta un esquema analítico ni demostrativo riguroso, sino más bien constituye un proceso de síntesis y experimentación sobre la base de trabajos desarrollados en otros sistemas.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DE ALGUNOS FENOMENOS QUE PROVOCAN ESFUERZOS TORSIONALES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS

En sistemas eléctricos en condiciones estables, se sabe que la diferencia de potencias mecánica y eléctrica es nula; así mismo, al producirse una perturbación en el lado eléctrico, sobreviene una respuesta en el lado mecánico con el fin de compensar dichas variaciones. Esta respuesta no es instantánea sino que demora un cierto tiempo, lo que hace que la diferencia de potencias ya no sea nula, apareciendo en el sistema una potencia acelerante que se manifiesta como torque al eje de acoplamiento del grupo Turbina-Generador.

Las perturbaciones pueden deberse a operaciones planeadas en estado estable como sincronizaciones cierre-apertura de líneas, etc.; o a eventos no programados como fallas y sus maniobras de despeje y recierre.

2.1 CIERRE NORMAL DE LINEAS

El cierre de líneas es una de las operaciones más frecuentes de los Sistemas Eléctricos. Los esfuerzos torsionales al eje de los generadores dependen grandemente de la capacidad de corto circuito (Scc) del sistema involucrado y de la diferencia angular de fase ($\$\delta$) a través del interruptor.

En la referencia 3 se estudia la conección de un sistema de Scc = 15 GVA con otro mayor de Scc = 30 GVA, lo cual se puede ver en la fig. 2.1 a).

La operación de cierre de la línea provoca en el generador de la figura una variación del 50% en su potencia real (\pm Pav = 0.5 pu.) con una diferencia angular a los terminales del interruptor abierto de 30° ($\pm\delta$ = 30°).

Los torques resultantes de esta operación son vistos en la fig. 2.1 b); de donde se puede apreciar que la variación inicial del torque eléctrico es 1.0 pu., mientras que la del torque mecánico es de 0.5 pu., de tal forma que el efecto neto del torque sobre el eje del generador es Tav = 0.5 pu. (igual a **L**Pav); este valor causa fatiga al eje del generador, pudiéndole provocar efectos más severos si es que el esfuerzo sobrepasa el límite de resistencia del material del eje.



Fig. 2.1.a Cierre de línea





Fig. 2.1.5 Torques Eléctrico y Mecánico resultado de un Cierre Normal de Líneas. Te = Torque eléctrico Ta = Torque mecánico

2.2 RECIERRE DE FALLAS LINEA - TIERRA

La falla línea - tierra es la más frecuente que se sucede en un sistema eléctrico, las oscilaciones torsionales provocadas al despejar y recerrar la falla, donde se producen variaciones rápidas en la diferencia angular en los polos del interruptor, no han sido tomadas muy en cuenta, al igual que los efectos sobre la fatiga de los ejes del grupo Turbina-Generador. Por esta razón se pretende describir en una forma general, la fatiga a los ejes asociada con el despeje-recierre de este por las técnicas de recierre monopolar tipo de falla, (apertura-cierre de una sola fase) y tripolar (apertura cierre de las tres fases).

características de un generador 3 se dan las En la referencia mecánicos los torques eléctricos V. de cuatro polos, У del вobre el eje de éste, como consecuencia producidos recierre de una falla línea - tierra.

en las figuras resultados obtenidos se los resume de la Los 2.3 a la 2.6 en cuatro casos diferentes de recierre. Se conexión del generador al sistema: consideraron dos formas de Por doble circuito (figs. 2.3 y 2.4) y por circuito simple Las dos técnicas (figs. 2.5 У 2.6). de recierre вon tanto para recierre tripolar (figs. 2.3 y 2.5)comparadas, como para monopolar (figs. 2.4 y 2.6).

En la figura 2.2 se muestra a un generador conectado al sistema por doble circuito (a) y simple circuito (b).



Fig. 2.2 Conexión de un generador al sistema a) Doble circuito, b) Simple circuito

Del análisis de los resultados se sacaron conclusiones, las mismas que se resumen de la siguiente manera:

generador a) Cuando un es conectado al sistema por dos circuitos paralelos fig. 2.2 a), la fatiga al eje causada por el recierre de una falla línea - tierra es pequeña, ya sea mediante la técnica monopolar o tripolar. Con recierre exitoso (figs. 2.3 a) У 2.4 a)), las oscilaciones torsionales al eje no son excesivas.

Sin embargo un recierre fallido (figs. 2.3 b) y 2.4 b)) dependiendo del instante exacto de la operación de apertura de la falla, puede posibilitar ·la acumulación de fatiga al eje.

b) Si un generador es conectado al sistema por un circuito simple fig. 2.2 b), la técnica de recierre afecta no solamente a los resultados de fatiga del eje, sino también a la estabilidad del generador. Cuando las tres fases del circuito simple son abiertas al despejar la falla línea-tierra, las oscilaciones torsionales ocurren debido a una interrupción súbita del flujo de potencia, lo cual equivale a un rechazo de carga. Consecuentemente, sea que el recierre se efectúe o no, constituye una mala sincronización, provocando esfuerzos severos al eje. Con un recierre defectuoso (fig. 2.5 b)), el generador es desconectado del sistema, mientras que el recierre exitoso puede llevar a la inestabilidad del generador (fig. 2.5 b)). En contraste el recierre monopolar minimiza los efectos adversos. Las oscilaciones torsionales alcanzan cerca de la mitad de la amplitud y por ende, causan menos fatiga al eje que aquellas de recierre tripolar. Un recierre monopolar exitoso (fig. 2.6 a)) causa una fatiga al eje despreciable. Con un recierre defectuoso (fig. 2.6 b)), el generador permanece estable y el resultado es de baja fatiga al eje.



a)







Te = Torque eléctrico

Fig. 2.3 Recierre tripolar de una falla línea-tierra sobre uno de los dos circuitos que conectan el generador con el sistema: (a) Exitoso, (b) No exitoso.

Te = Terque necánico

Fig. 2.4 Recierre conopolar de una falla línea-tierra de uno de dos circuitos que que conectan el generador con el sistema (a) Exitoso, (b) No exitoso.



Te = Torque eléctrico

Fig. 2.5 Recierre Tripolar de falla línea-tierra de un generador conectado al sistema por simple circuito. (a) exitoso (b) No exitoso Ta = Torque mecánico

Fig. 2.6 Recierre monopolar de una falla líneatierra de un generador conectado al sistema por simple circuito. (a) Exitoso (b) No exitoso.

2.3 RECIERRE DE FALLAS TRIFASICAS

Las fallas trifásicas constituyen un gran riesgo para los generadores, en particular contribuyen en una severa acumulación de fatiga del eje, por la variación repentina y brusca de la potencia activa.

El momento exacto de la operación del interruptor en el despeje y recierre de la falla tienen decisiva influencia en los esfuerzos al eje, en circunstancias adversas de un recierre fallido, pueden sobrevenir sobre los ejes, esfuerzos muy grandes.



Fig. 2.7 Torques máximos al eje como función de los tiempos de un recierre defectuoso de una falla trifásica.

Tiempo de despeje			Tiemp	o de r	ecierr	e (cic	los)	
(ciclos)		25	25.5	26	26.5	27	27.5	28
2.5	Fatiga	0.13	0.02	0.02	0.09	0.70	0.55	0.31
3.0	al	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.005	0.01
3.5	eie	0.02	0.11	0.60	0.65	1.10	0.12	0.02
4.0	~	100	100	100	100	0.90	0.15	100
4.5		100	100	100	100	3.11	13.73	100

Tabla 2.1 Fatiga al eje causada por un recierre defectuoso de una falla trifásica.

De la referencia 3, donde se describe un análisis sobre un generador de dos polos; la figura 2.7 y la tabla 2.1 resumen los esfuerzos y fatiga resultantes de un recierre defectuoso de una falla trifásica como función de los tiempos de despeje y recierre. Se ve que existen grandes variaciones en los torques y en la fatiga al eje, con diferencias pequeñas de los tiempos de despeje-recierre. Tiempos de despeje de 4.0 y 4.5 ciclos reflejan serios peligros para el eje; en cambio 3.0 y 3.5 ciclos son más favorables. Tiempos despejes de 2.5, 27.0 y 27.5 ciclos parecen ser los más de recierre de favorables para cualquier tiempo de despeje.





Ta = Torque mecánico Te= Torque eléctrico

Fig. 2.8 Recierre de una falla trifásica: (a) Exitoso, (b) y (c) No exitoso; sobre el circuito de un generador conectado al sistema. Secuencia de despeje y recierre: (a) 3-25, (b) 3-25-3, (c) 3.5-26.5-3.5 ciclos. [ref. 3].

En las figuras 2.8 a) y 2.8 b) se ven los torques que ocurren exitoso y no exitoso, con un recierre bajo condiciones favorables, de una falla trifásica; éstos causan una leve La fig. 2.8 c) muestra un caso de fatiga al eje. recierre exitoso) con tiempos desfavorables para el defectuoso (no mismo generador y sistema; la fatiga al eje es más apreciable que en los dos casos anteriores.

2.4 DESPEJE DE FALLAS TRIFASICAS

Si luego del despeje de una falla trifásica se espera un momento hasta que la oscilación torsional decaiga para realizar el recierre, los torques al eje el instante del despeje, y el tiempo óptimo de espera antes del recierre se vuelven de interés. En la fig. 2.9, tomada de la referencia 3, se muestra el torque máximo como función del tiempo de despeje de la falla trifásica, además se indican algunos factores que inciden en la magnitud del esfuerzo al eje asociado con el despeje de una falla trifásica:

- El voltaje de falla en la barra de alto voltaje el que depende de la proximidad de la falla.
- La potencia de salida de la Turbina-Generador el instante de la falla.
- La capacidad de corto circuito del sistema (SCC), y
- Las reactancias que intervienen (Transformador y Línea).

El amortiguamiento mecánico del generador, determina el decaimiento de las oscilaciones torsionales, esto depende del diseño de la máquina, y de la magnitud de las oscilaciones en si mismo.

Como se puede apreciar de la fig. 2.9 pequeñas variaciones en el tiempo de despeje de una falla trifásica, provocan grandes cambios en los torques provocados por ésta. Parece ser que los tiempos favorables de despeje se dan cada 3 ciclos (3 - 6 ...) en los que se aprecia que los torques son mínimos.



Fig. 2.9 Máximos torques al eje resultado del despeje de una falla trifásica como función del tiempo de despeje de la falla.

2.5 SINCRONIZACION

La Sincronización de partes de un Sistema de Potencia es una operación muy frecuente; la amplitud de las oscilaciones torsionales depende directamente del ángulo de fase entre los terminales del disyuntor y de la impedancia del sistema eléctrico.

En la fig. 2.10 se puede observar un sistema de dos unidades, cuyas características son semejantes y están dadas en la referencia 2; en la que se presenta un estudio de la sincronización de la Unidad 1 ángulos para entre los terminales del interruptor de 0° hasta 120° en pasos de 20° para el voltaje de la máquina en adelanto y retraso respecto del sistema.



Fig. 2.10 Sincronización de la Unidad 1 para ángulos de fase de 0° a 120°, en pasos de 20°.

Las variaciones del torque máximo al eje respecto al ángulo de sincronización, obtenidas de la ref. 2, pueden verse en la figura 2.11. Las amplitudes máximas del torque al eje fueron tomadas como los valores ocurridos durante el primer ciclo del esfuerzo oscilante siguiente a la sincronización.

la misma referencia se puede destacar, que De los torques la sincronización, para ángulos de 40° producidos por y 60°, adelanto y retraso, respectivamente, son aproximadamente en iguales a aquellos ocurridos durante un cortocircuito la Unidad trifásico а los terminales de 1. Cuando la sincronización ocurre con ángulos mayores a 30° los esfuerzos al eje se vuelven mucho más severos.

Un análisis más detallado de los efectos de la sincronización se realiza en el Capítulo 3, numeral 3.1, en base al estudio de la referencia 2.

Pág.: 17





2.6 COMPARACION DE LOS EFECTOS DE LAS DIFERENTES MANIOBRAS

Los esfuerzos asociados a operaciones de cierre-apertura en estado estable, no sólo dependen del ángulo en los terminales disyuntor, sino también de las impedancias del sistema del eléctrico; éstos se manifiestan como cambios súbitos en la potencia eléctrica del generador.

La tabla 2.2, recogida de la ref. 3, muestra la contribución sobre la fatiga del eje de diversas condiciones de falla У operaciones de cierre-apertura. Los efectos varían grandemente de acuerdo al tipo de perturbación, condiciones de operación y parámetros de la máquina, y de la configuración del sistema. Las barras de la tabla 2.2 indican los límites superior e porcentaje de fatiga por incidencia inferior del por perturbación. Las partes sombreadas son resultados que se han obtenido sobre muchas máguinas estudiadas en la ref. mencionada.

En la tabla 2.2 se ve que un recierre no exitoso de una falla trifásica puede conducir a severas fatigas del eje. Algo menores en estos efectos son la mala sincronización y despeje de fallas trifásicas y el recierre exitoso. El recierre tripolar exitoso de una falla línea-tierra de una máquina conectada al sistema por un circuito simple, se presenta como de gran riesgo para el eje.

El valor del 100% de la fatiga por incidencia, no indica la eminente fractura del eje, sino de que existe una probabilidad significativa de que la fatiga de inicio a la ruptura de éste.

Con el fin de evitar, no solamente la acumulación de fatiga de los ejes, sino también de minimizar los impactos en la estabilidad e integridad del sistema, la IEEE ha publicado un documento (ver Cap. 6) en el que se sugiere un límite de variación de la potencia de 0.5 pu. sobre la capacidad en MVA del generador, ante operaciones de cierre-apertura en estado estable, limitando así, los efectos peligrosos a los eventos no programados.

CONDICION DEL SISTEMA

		Pav < 0.5 p.u.		Ĩ					
Cierre Normai de Linea		Pav > 0.5 p.u.							
Sincronización		Automática							
		Manual (8 < 1	Manual (8 < 10°)						
		Fuera de (90° < 8 < 120°)						·	
	Circuito Múltiple	Recierre	Realizado						
	5-11-	Tripolar	Fallido						
	Línea-tierra	Recierre	Realizado						
G		Polo simple	Fallido						
	Circuito Simple	Recierre	Realizado						
		Tripolar	Fallido		,				
	Línea-tierra	Recierre	Realizado						
G		Polo simple	Fallido		·				
	Circuito Múltiple	Despeje	Realizado						
	Falla	Recierre	Fallido						
		Despeje	Pealizado						
6		Recierre	Fallido						••
	Circuito Simple	Despeje	Realizado						
	línea-línea	Recierre	Fallido						
	Falla Linea-Linea-tierra	Despeje	Realizado	, 					
G		Recierre	Fallido			a .			
	Circuito Múltiple	Despeje					í		
	Falla Trifásica	Recierre	Realizado						
G	, Thiste		Fallido						
	Circuito Simple	Despeje			<u> </u>				
	Falla Trifásica	Recierce	Realizado						
G			Fallido			-			
Corto Circuito de simple fase terminal a terminal de la unidad		Lado de alto volt. (Barra)							
		Bajo volt. (Gen. adelant.)							
Corto circuito trifa	ásico de la unidad	Lado de alto volt. (Barra)]	
		Bajo volt. (Gen. adelant.)							L

Tabla 2.2 Impacto de operaciones de conmutación y de fallas sobre la fatiga del eje de Turbinas Generadores

CAPITULO 3

TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS DURANTE SINCRONIZACION - METODOS DE SIMULACION Y ANALISIS DE FATIGA

3.1 TORQUES AL EJE DURANTE SINCRONIZACION FUERA DE FASE

La sincronización de partes de un sistema de potencia, es una operación muy usual; la diferencia angular entre los dos puntos a conectarse tiene una influencia directa sobre los esfuerzos a los ejes de las unidades generadoras. Estos esfuerzos han llegado a ser tan grandes que incluso han provocado la fractura y torcedura del eje de acoplamiento de unidades térmicas [ref. 2].

De los principios básicos de análisis de sistemas de potencia, se desprende que no se pueden tener, en condiciones reales, los mismos valores de magnitud y ángulo del voltaje en los diferentes puntos de una red eléctrica; lo cual puede explicarse desde la fig. 3.1



Figura 3.1

```
Vp = |Ep|Vq = |Eq|I = |Ipq|
```



Diagrama fasorial de la fig. 3.1

 $V_{P}^{2} = (V_{q} + AV)^{2} + \delta V^{2}$ $V_{P}^{2} = (V_{q} + IR\cos\phi + IX\sin\phi)^{2} + (IX\cos\phi - IR\sin\phi)^{2}$ $P = V_{q}.I.\cos\phi$ $Q = V_{q}.I.\sin\phi$

$$V_{P^2} = (V_{q} + \frac{PR}{V_{q}} + \frac{QX}{V_{q}})^2 + (\frac{PX}{V_{q}} - \frac{QR}{V_{q}})^2 3.2)$$

Comparando 3.1) y 3.2):

$$\mathbf{IV} = \frac{\mathbf{PR} + \mathbf{QX}}{\mathbf{Vq}} \qquad 3.3)$$

$$\delta V = \frac{PX - QR}{Vq} \qquad 3.4)$$

Como en Líneas de transmisión R<<X, entonces:

$$4V = \frac{QX}{Vq} \qquad 3.5)$$

$$\delta V = \frac{PX}{Vq} \qquad 3.6)$$

De la ecuación 3.6) vemos que la diferencia de ángulo de las barras depende fundamentalmente del flujo de Potencia activa, por lo tanto los diferentes cambios de potencia activa de la red hacen que los valores de los ángulos (en especial de los puntos a sincronizar, que son eléctricamente muy lejanos entre sí) en los diversos puntos del sistema no sean iguales.

Con fin entender el fenómeno asociado el de la а sincronización con diferencia angular, вe expone a continuación el análisis de los torques a los ejes de las máquinas sincrónicas, durante sincronización fuera de fase, realizado y presentado en la referencia 2.



Fig. 3.2 Sincronización de la Unidad 1

Considerando la fig. 3.2, se estudia la sincronización de la Unidad 1 para diferencias angulares entre los terminales del interruptor de la figura, desde 0° a 120°, en incrementos de 20°, para los voltajes de la máquina en adelanto y retraso respecto al sistema. Las características de las unidades son similares y, junto con los parámetros de la línea y del transformador, se dan en la referencia 2.

Los resultados de los trazos de los torques se ven en las figuras: 3.3 y 3.4. Donde Tc = Torque mecánico, Tq = Torque en las secciones de la Turbina y Te = Torque eléctrico.

En las figuras de la 3.5 a la 3.9 se reproducen los torques pico-pico (Torque máximo - Torque mínimo) y máximos encontrados en el estudio.

Los valores máximos de los torques positivos y negativos son aquellos que ocurren durante la primera oscilación torsional siguiente a la simulación del cierre del interruptor.

De las figuras 3.5 a la 3.9 se puede ver que los torques producidos por las sincronizaciones, y encontrados en el estudio de la referencia mencionada, con ángulos del voltaje de la máquina en adelanto al sistema, son mayores que aquellos producidos en atraso.

En el estudio de la ref. 2 se pretende comparar los torques a los ejes de las máquinas, presentados durante sincronización, con aquellos durante un cortocircuito trifásico. Para esto se realiza un estudio sobre la Unidad 1 de la fig. 3.2, para cortocircuito trifásico en los terminales de la máquina y en el lado de alta del transformador.

Los resultados que se obtuvieron se resumen en la tabla 3.1, de los que se puede decir que los torques resultantes de un cortocircuito trifásico en los terminales de la máquina, son igualados para sincronizaciones con defasajes angulares de 40° en adelanto y con 60° en retraso del voltaje de la máquina respecto al sistema.







Fig.3.4 Torques resultado de sincronización para ángulo de 60º en retraso.




5			~ ~
		-	21
LOR.	-	-	4

FALLA	MAGNITUD DEL TORQUE (pu)
Cortocircuito trifásico en los terminales de la máquina.	4.0
Cortorcircuito trifásico en el lado de alta del transformador.	2.0
Sincronización con ángulo de 100° en adelanto	13.5
Sincronización con ángulo de 100º en atraso	7.5
Idem. 40° en adelanto	4.0
Idem. 60° en atraso	4.0
Idem. 20° en adelanto	2.0
Idem. 40° en atraso	3.8
Tabla 3.1 Comparación de los efecto de un cortocircuito trifásic	:0

y una sincronización con defasaje angular.

3.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE FATIGA

Aunque los torques resultantes son de considerable interés, el objetivo del estudio es estimar cuantitativamente el aumento en el daño que los torques causan al eje del sistema.

El mecanismo de daño por fatiga es extremadamente complejo; este no es el tipo de problema sujeto a teorías rigurosas que puedan adelantar resultados cuantitativos estrictos.

El daño por fatiga es el resultado de un rajado creciente causado por variación en tiempo de esfuerzos aplicados al material. Este rajado creciente es considerado por muchos investigadores dividido en tres regímenes [ref. 4]: generación de rajadura, concentración de la rajadura, y crecimiento propagación de la rajadura hasta la fractura.

La generación inicial de la rajadura es microscópica y depende de las propiedades microscópicas del material (determinado por el tipo de material así como de su fabricación y operación) y de la naturaleza del esfuerzo aplicado.

El crecimiento y transición de esta rajadura a rajadura macroscópica continúa dependiendo de las propiedades del material, de la geometría y dimensión de éste, del esfuerzo aplicado así como también del estado inicial del material. Finalmente una o más de estas rajaduras macroscópicas combinadas y acrecentadas dan lugar a la fractura total de la estructura del material.

Desde el punto de vista de ingeniería es necesario expresar la fatiga en términos estadísticos para representar curvas que relacionen el número de ciclos esperados para la fractura, con el nivel de esfuerzos resultantes de una perturbación. La figura 3.10 es una curva típica de conducta del esfuerzo (S-N) para materiales tales como el acero. La esperanza de vida por fatiga se incrementa con el decremento de la amplitud de los esfuerzos, hasta considerarse que se vuelve infinito en un nivel de esfuerzo conocido como el límite de fatiga. Bajo este nivel de esfuerzos se asume que el daño por fatiga no ocurre en el material.

Curvas de este tipo son determinadas empíricamente para cada material mediante muchas pruebas realizadas sobre muestras de material.

Cada muestra es cíclicamente forzada en un nivel de esfuerzo hasta su falla, y el número de ciclos es registrado. La naturaleza del proceso de fatiga es tal que la fractura ocurre en un número de ciclos algo diferentes para cada nivel de esfuerzo y así una curva como la de la fig. 3.10 debería ser realmente descrita en términos estadísticos.

La justificación para el uso en ingeniería de este tipo de descripción de fatiga ha sido, tener una referencia de trabajo determinadas aplicaciones. Es necesario tomar muchas en precauciones al trabajar en este campo, ya que existen evidencias de que las propiedades de fatiga no concuerdan con las dimensiones y la geometría del material. Por lo que es recomendable hacer pruebas de fatiga en todas las dimensiones de las estructuras.[ref. 4].



Figura 3.10 Curva Típica de Esfuerzo - Vida para materiales como el acero.

Para un material dado, la curva S-N (Esfuerzo-Número de ciclos para la falla) es derivada de datos publicados de este material. Las ecuaciones son hipotéticas y los "parámetros apropiados" son determinados por experimentos en cada material.

figura 3.11 muestra una curva típica del La esfuerzo vs deformación para un material. La deformación (∈) ев el porcentaje del desplazamiento del material; es obtenida como una función del esfuerzo (σ), o fuerza por unidad de área, la cual causa la deformación. La región líneal de la curva es conocida como la región de deformación elástica. La relación límite entre la deformación cíclica elástica, ∈e´ y el esfuerzo elástico cíclico, σ' , está dado por:

 $\epsilon e' = \sigma'/E$

(3.7)



Figura 3.11 Curva Esfuerzo - Deformación

Un material que es deformado elásticamente retornará a su forma original y resistirá a una deformación posterior.

Valores de deformación fuera de la región líneal son conocidos como deformación plástica, que resulta en deformación permanente del material. La deformación plástica cíclica ∈p´ puede relacionarse al esfuerzo como:

$$\epsilon p' \simeq \epsilon f' (\sigma' / \sigma f')^{1/n'}$$
(3.8)

Pág.: 30

La ecuación para encontrar el número de ciclos de falla, Nf, para una deformación plástica cíclica es: (Ley de COFFIN-MASON). [ref. 4]

$$\epsilon_{p} = \epsilon_{f} (2Nf)^{\circ}$$
(3.9)

De las ecuaciones 3.8 y 3.9

 $Nf = 1/2(\sigma'/\sigma f')^{1/n^{2}c}$ (3.10)

La ecuación (3.10) describe la porción de la figura 3.11 para esfuerzos mayores que el límite de fatiga. Para completar el modelo de fatiga, el esfuerzo correspondiente al límite de fatiga también debe ser especificado.

Este modelo de fatiga es derivado de datos obtenidos bajo la acción de amplitudes simples. Una técnica estándar es usada para calcular el porcentaje de pérdida de vida causado por cada amplitud del esfuerzo, y entonces, sumarlos para obtener el porcentaje total de pérdida de vida. Esta técnica es conocida como regla de MINER y puede ser expresado matemáticamente como:

 Σ ni/Nfi = fracción de pérdida de vida. (3.11) Donde:

ni = número de ciclos del iésimo nivel de esfuerzo Nfi = # de ciclos requeridos por el iésimo nivel de esfuerzo para provocar fractura.

Cuando la fracción de expectación de vida es igual a 1, la regla de MINER predice ruptura del material.

La figura 3.12 muestra una parte de una curva típica de esfuerzo - tiempo que puede ocurrir a un eje bajo condiciones de vibraciones torsionales.



Fig. 3.12 Curva típica de esfuerzo - tiempo bajo condiciones torsionales.

La técnica de cálculo cíclica optada para este estudio es lo completamente simple, por que parecería que este en verdad conservador y resultaría procedimiento es en estimación pesimista del daño al eje. De la fig. 3.12, cada esfuerzo pico positivo (A, B, C, D, etc.) es computado como un ciclo individual de valor igual a este pico. Así, a pesar de que el esfuerzo está oscilando alrededor de un valor inferior, go, la amplitud pico es medida respecto a cero. Adicionalmente esfuerzos como B y C son considerados individuales a pesar de que están separados por un pequeño esfuerzo reverso. A pesar del número y grado de aproximaciones envueltas en esta descripción de la fatiga cíclica, esta parece representar una tecnología aceptable y forma la base del trabajo aguí realizado.

3.2.1 MODELO ESPECIFICO DE FATIGA

El modelo específico de fatiga presentado a continuación es el mismo encontrado en la ref. 4.

Excepto para dimensiones del eje, datos como propiedades del material no han sido dispuestos por el fabricante. De esta forma las propiedades fueron asumidas de las publicaciones encontradas, pero se consideran confiables para los fines del estudio.

La ref. 4 toma en cuenta que, los ejes de las Turbinas-Generadores son combinaciones de acero a alta temperatura no magnético; asume al acero de la clase ASTM A 293/2-6 como ejemplo de material del eje de una máquina; el cual puede ser sustituido por aceros similares en caso de que los valores de los parámetros no sean encontrados explícitamente. La tabla 3.2 lista varias propiedades de estos materiales, y aunque no se encontraron valores como el coeficiente de resistenciadeformación (co) y del exponente de resistencia-deformación (n), los valores de la tabla 3.2 los asume como propios.

TABLA 3.2

PROPIEDADES PARA EL ASTM A293/4

PROPIEDAD

VALOR

Módulo de Young (E)	30x10exp 6	3 psi
Modulo de Rotura (G)	11x10exp 6	6 psi
Resistencia de Torcedura (Su)	110200	psi
.1% de Rendimiento de Potencia (Ys)	84100	psi
Porcentaje de reducción en área (q)	61	%
Coef. de resistencia al esfuerzo (σο)	205000	psi
Exp. de resistencia al esfuerzo (n)	0.51	
Exp. de facilidad a la fatiga (c)	-0.50	

)

De la ref. 4:

$$\epsilon f' = \ln(1/(1-q)) = 0.942$$
 (3.12)

 $\sigma f' = \sigma \sigma (\epsilon f')^n = 199000 \text{ psi}$ (3.13)

Usando estos valores, sustituyendo en la ec.(3.10), obtenemos:

$$Nf = 1/2(5.03 \times 10^{-6} \sigma')^{-(2.00/n^{-})}$$
(3.14)

Para determinar n', también recurre a valores publicados de materiales semejantes, que han sido sometidos a pruebas de fatiga torsional y, aunque con diferente dimensión, un valor de n' = 0.112 fue escogido, y el exponente de la ecuación (3.14) es -17.86.

Para completar el modelo de fatiga para el sistema del eje es necesario relacionar los torques al eje, con esfuerzos del material. Para un eje de radio Ro, asumiendo una torsión elástica el esfuerzo de torsión, σs, varía linealmente con el radio, r.

De la ref. 4: σs = (σsmax)r/Ro (3.15) donde: σsmax = esfuerzo torsional al radio externo

El torque neto, T, es igual a: $T = \iint \sigma s.rdA \qquad (3.16)$ $\sigma smax = 2T/\pi Ro^3 \qquad (3.17)$

El esfuerzo de torsión σ es:

 $\sigma = 2\sigma s$ (3.18) La ec. (3.8) puede ser escrita ahora, en términos de torque al eje y del radio, donde el daño es relativo al torque máximo,

 $Nf = 1/2(6.40 \times 10^{-6} T/Ro^3)^{-17.86}$ (3.19)

donde: Torque en pu. Ro en m.

La ec. (3.19) nos da la curva que relaciona el número de ciclos de fractura del eje con el torque normalizado sobre aquella sección del eje; se la expresa en forma general en la ec. (3.20), que será utilizada en este trabajo, para la estimación de las curvas Torque vs. Número de ciclos para la falla, de los ejes de las unidades del SNI, de acuerdo a sus parámetros, considerados en el Capítulo 6.

$$Nf = 1/2 \left[\frac{4 \times T}{PI \times R3 \times \left[Ln(\frac{1}{1-q}) \right]^n \times \sigma_0} \right]^{1/n^2 c} (3.20)$$

Ecuación para la estimación de la curva de fatiga de los ejes de las

náquinas sincrónicas de las unidades del SNI. [ref. 4]

Torque Normalizado (pu)



Fig. 3.13 Curva de fatiga: Torque vs. Número de ciclos para la falla. [ref. 4].

3.3 REPRESENTACION DEL GENERADOR Y DEL EJE DEL SISTEMA

3.3.1 REPRESENTACION DEL GENERADOR

El acoplamiento al sistema torsional, del sistema de potencia se realiza por medio del torque del generador (Tgen.). Este representa la acción del torque eléctrico sobre el generador y corresponde a la potencia real de salida de éste. En estado estable este torque balancea al torque neto debido a las varias secciones de la Turbina.

Cuando se inicia un transitorio en el sistema de potencia se provoca el torque eléctrico, y como consecuencia de esto se produce una respuesta en el sistema mecánico en forma de torque en oposición. Estas dos interacciones sobre el eje de acople Turbina-Generador pueden ser obtenidas de un estudio común de estabilidad.

Esta aproximación de acoplamiento, para los fines de este estudio puede ser considerada como válida, ya que otras modelaciones más complejas producen resultados con diferencias casi sin importancia. [ref. 4].

3.3.2 REPRESENTACION DEL EJE DE LA TURBINA-GENERADOR

Una representación detallada del eje del sistema Turbina-Generador se describe en la ref. 4,y se puede observar en la fig. 3.14, donde las masas torsionales representan las diversas secciones del sistema mecánico-eléctrico de la turbina.



Fig. 3.14Modelo total del eje del sistema Turbina-Generador. [ref. 4].

Sin embargo, como el estudio pretende determinar solamente la influencia entre el acople de la turbina con el generador, el modelo a emplearse se simplifica a aquel que se ve en la fig. 3.15. El torque del lado mecánico se opone al del lado eléctrico; en estado estable se produce un balance y el acoplamiento no sufre esfuerzos torsionales. Al producirse una perturbación eléctrica, aparece un torque al eje resultado de la diferencia Torque mecánico - Torque eléctrico.



Fig. 3.15 Modelo de acople Turbina-Generador para el presente estudio

3.4 EFECTO DE ALGUNOS PARAMETROS DEL SISTEMA EN LA REDUCCION DE FATIGA DEL EJE

Existen algunos parámetros del sistema que influyen sobre la reducción de fatiga del eje, y por ende en la esperanza de vida de éste. Estos parámetros dependen en mucho del fabricante, así como también de los valores de los elementos del Sistema Eléctrico.

Los parámetros que se hará mención en esta sección son: la constante de inercia del generador, la constante de inercia del eje Generador-Excitatriz, las reactancias transitoria y subtransitoria y la reactancia de la línea de transmisión.

En la ref. 6 se presenta un estudio de los efectos en la reducción de fatiga debido a los parámetros antes mencionados luego de la acción de cuatro perturbaciones: Despeje de Falla Trifásica, Recierre Exitoso de Falla Trifásica, Recierre

Defectuoso (no exitoso) de Falla Trifásica y sincronización con defasaje angular de δ =120°.

3.4.1 REDUCCION DE FATIGA COMO FUNCION DE LA CONSTANTE DE INERCIA DEL GENERADOR

Se puede evaluar la severidad de la fatiga como función de la constante de inercia del generador, variándole su valor mientras los demás parámetros permanecen fijos; lo que significa que la característica torsional del rotor cambia. [ref. 6].

Con las diferentes perturbaciones anotadas anteriormente, se ha podido ver que al decrecer la constante de inercia del generador, se disminuye la fatiga del eje. Para el caso de un recierre no exitoso de una falla trifásica, los valores de la fatiga, fluctúan, debido a la grave perturbación que significa el recierre no exitoso.

Resultados obtenidos sobre una determinada máquina [ref. 6], se muestran en la fig. 3.16; valores muy similares se han visto en un gran número de máquinas de diferentes características.

3.4.2 REDUCCION DE FATIGA COMO FUNCION DE LA CONSTANTE DE INERCIA DEL EJE GENERADOR-EXCITATRIZ

Para cambios de la constante de inercia del eje del generadorexcitatriz la influencia en las demás secciones del eje es despreciable. Para el eje Generador-Excitatriz existe un máximo en la curva de la fig. 3.17, (Fatiga vs. Constante), en un valor de K=2.8 [torque pu /rad] para los tres primeros casos a), b) y c); mientras que para condiciones de sincronización fuera de fase este máximo se encuentra en K=3.4 [torque pu /rad.].[ref. 6] En otras máquinas se ha visto un máximo principal y algunos más, de menor amplitud, observándose también una influencia despreciable en los restantes ejes. [ref. 6].

3.4.3 EFECTO DE LAS REACTANCIAS TRANSITORIAS X⁻a Y SUBTRANSITORIAS X⁻a

Las reactancias transitorias X'a y subtransitorias X"a son factores principales que afectan los valores de la amplitud del torque bajo condiciones transitorias. De la teoría de las máguinas sincrónicas se conoce que: [ref. 6].

En la referencia 6 se plantea las siguientes ecuaciones:

Trotor =
$$\frac{V^2}{2} \left[\frac{R_a}{X''_a z} + \frac{R_q}{X_{q'' z}} \right] = -2t/Ta3$$
 (3.21)

Donde

V es el voltaje terminal

Ta3 constante de tiempo

El torque eléctrico bajo sincronización fuera de fase.

$$Te = \frac{2}{(X''a + Xt + X1)} \left[sin\delta - 2sin(\delta/2)cos(t + \delta/2) \right]$$
(3.22)

donde:

Es el ángulo de fase
 Xt, Xi Reactancias del transformador y del sistema respectivamente.

De las relaciones anteriores, es claro que el torque es inversamente proporcional a los valores de X"a. Así, un incremento del valor de X"a causa decremento en la amplitud del torque eléctrico y de las oscilaciones torsionales.

En la referencia 6 se menciona además, que el torque es inversamente proporcional a la reactancia transitoria X^{*}a, de modo que al incrementarse ésta, la fatiga del eje disminuye.

3.4.4 REDUCCION DE FATIGA COMO FUNCION DE LA REACTANCIA DE LA LINEA DE TRANSMISION

Las reactancias de las líneas de transmisión afectan el valor del torque eléctrico bajo condiciones de despeje de fallas y su recierre exitoso, pero no afectan la amplitud de las oscilaciones del torque bajo cortocircuitos trifásicos. Estas conclusiones se pueden derivar de la ecuación (3.22), ya que el despeje de fallas y su recierre son similares a la sincronización fuera de fase.

Bajo las cuatro perturbaciones antes señaladas, la fatiga decrece con el incremento de la reactancia de la línea de transmisión. Especialmente, bajo condiciones de sincronización la reducción es más notoria.





CAPITULO 4

ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

Previa a la sincronización de partes de un sistema o entre sistemas de potencia, se hace necesario conocer las condiciones en estado normal de éste y muy específicamente los niveles de voltaje en magnitud y ángulo de las barras que van a efectuar la sincronización; para lo cual es necesario hacer un análisis de Flujos de Potencia del sistema.

El objetivo principal del estudio de Flujos de Potencia, para este trabajo, es determinar el defasaje angular existente entre los puntos que van a realizar el cierre del anillo de 230 KV del SNI. También se tomará los datos de diferencia en magnitud de los voltajes entre las barras a sincronizar, y de las condiciones de generación de las unidades del SNI. Además se pretende visualizar, en forma general, la situación del sistema posterior a la maniobra de cierre, para asegurar una operación normal de éste.

El estudio de Flujos de Potencia se orienta al SNI para la primera sincronización del anillo de 230 Kv. Teniendo como base al sistema operando con el anillo cerrado, producto de la primera sincronización, se estudia las mejores condiciones de su resincronización, ante la posibilidad de que éste quede abierto en cualquiera de sus tramos.

El trabajo se lo realizará para los tres períodos de demanda; esto es: Demandas máxima, media y mínima.

4.1 CONFIGURACION DEL SNI Y DATOS GENERALES

En el anexo A, la fig. A.1 muestra el diagrama unifilar del SNI con el anillo de 230 KV abierto en los tramos Paute -Riobamba y Paute - Totoras, se aprecian los datos de los transformadores, longitud de las líneas, los niveles de tensión de las barras y la potencia de generación de las unidades más importantes. En la fig. A.2 se ve el diagrama unifilar del SNI con la respectiva numeración de barras, en líneas de trazos se ve la última etapa del anillo por cerrarse. En la fig. A.3 podemos ver el diagrama geográfico del Sistema Eléctrico Ecuatoriano, con el anillo de 230 KV concluído. [ref. 26].

La configuración del Sistema Nacional es tal, que, la mayor parte de la generación se encuentra concentrada en un sólo punto (Paute), para luego distribuir la potencia a las diferentes áreas del Sistema. (Ver anexo A).

En el anexo B se muestran los datos de demandas y factores de potencia de las empresas interconectadas y la programación de generación de las unidades del SNI [ref. 26].

4.2 CRITERIOS UTILIZADOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO

Para realizar el estudio de Flujos de Potencia en los diferentes tipos de demanda se consideraron básicamente los siguientes criterios: La barra oscilante en todos los casos fue considerada la barra de 13.8 Kv. de la Central Paute.

 El rango de variación de voltaje en las unidades de generación está entre 0.95 y 1.05 en pu. del voltaje nominal.

- Los generadores de las centrales deben funcionar manteniendo siempre la potencia reactiva dentro de los límites que las curvas de capabilidad lo permitan.
- La demanda máxima es prevista por el departamento de Programación operativa de INECEL-DOSNI, para determinar la demanda media y mínima se multiplica a la demanda máxima por el factor de demanda respectivo que es calculado por la relación estadística entre las demandas medias y mínimas típicas divididas para la demanda máxima.
- El rango de variación de los taps de los transformadores en el lado de alta tensión es de \pm 5% sin carga, para los transformadores con tap bajo carga (LTC) el rango de variación es de \pm 10%.
- Para la programación de generación de las unidades, la demanda mínima se cubre con las unidades hidráulicas y de vapor, estas últimas con potencia mínima requerida; para demanda media se aumenta la generación de las unidades de vapor si las hidráulicas están a toda su capacidad y en demanda máxima entran las unidades que tienen un costo más elevado.

4.3 FLUJOS DE POTENCIA CON EL ANILLO DE 230 KV ABIERTO

El anillo de 230 KV del SNI está conformado por las barras de Paute, Riobamba, Totoras, Santa Rosa, Santo Domingo, Quevedo, Pascuales y Milagro con sus respectivas líneas. Los tramos entre Paute-Riobamba y Paute-Totoras constituyen la última etapa de cierre del anillo; por lo tanto es aquí donde INECEL tiene planeado la primera sincronización.(Ver anexo A, fig. A.2)

Los Flujos de Potencia llamados casos base, para las tres demandas, se refieren a aquellos realizados con las líneas que unen Paute-Totoras o Paute-Riobamba, energizadas y listas para la sincronización; de esta forma se crea, en cada caso, una barra ficticia al final de la línea energizada (Ver fig. 4.1). El cierre o sincronización, y, por ende la diferencia angular, involucran a la barra ficticia y a la barra opuesta a ésta.

Como se explicó anteriormente, el sistema con el anillo de 230 KV. cerrado, se puede abrir en los diferentes tramos, para las sincronizaciones respectivas se busca las mejores condiciones previas en cada punto y se procede a efectuar la maniobra. Esto es lo que se llama, a lo largo del trabajo, Sincronización en diferentes punto del anillo de 230 KV.

Los valores de defasaje angular y de magnitud del voltaje entre las barras de sincronización se obtienen de acuerdo a la fig. 4.1 :



Fig. 4.1 Diagrama de los puntos que intervienen en el proceso de sincronización

Donde:

p Barra Principal

```
r Barra Ficticia al final de la línea energizada.
```

```
g Barra de origen de la línea
```

p y r son las barras de sincronización; entonces:

 $\mathbf{I}\delta = |\delta \mathbf{p} - \delta \mathbf{r}|$

%1V = |Vp - Vr| *100

A continuación se hace una descripción general de las situaciones encontradas previamente a la sincronización del anillo, tanto para los casos base, como para los diferentes puntos de éste:

4.3.1 FLUJOS DE POTENCIA DEL SNI CASOS BASE

Los Casos Base, constituyen la primera sincronización, y se tienen cuatro alternativas: en el tramo Paute-Totoras se la puede realizar por el lado de Paute o por Totoras, entre Paute-Riobamba se la podría hacer por Riobamba o por Paute.

4.3.1.1.- DEMANDA MAXIMA

Cuando se pretende cerrar el anillo de 230 KV desde Paute, tanto en el tramo Paute-Riobamba como Paute-Totoras, no existen voltajes de barras fuera de los límites preestablecidos. Al intentar la sincronización desde Riobamba o Totoras, en sus tramos correspondientes, existen ciertas barras con bajos y sobre voltajes, aunque las desviaciones no son considerables.

Las diferencias de voltaje en magnitud y ángulo de las barras de sincronización, para las cuatro posibilidades estudiadas, de esta demanda se las encuentra en el cuadro 4.1 a).

4.3.1.2 DEMANDA MEDIA

La situación del sistema en demanda media, para fines de la primera sincronización, es similar a una operación normal, sin tener las líneas de los respectivos tramos energizadas para su posterior cierre. Los diferentes valores previos, obtenidos para esta demanda se recopilan en el cuadro 4.1 b).

4.3.1.3 DEMANDA MINIMA

En demanda mínima la generación de las unidades es la más baja, por lo que las líneas influyen en los niveles de voltaje de las barras, los mismos que se pueden controlar fácilmente.

En el cuadro 4.1 c), se pueden ver los resultados de magnitud y ángulo de los voltajes para esta demanda.

Los datos de voltaje y generación de las unidades del SNI previas a la sincronización de los casos base se pueden ver en el anexo C.

4.3.2. FLUJOS DE POTENCIA CON EL ANILLO DE 230 KV ABIERTO EN DIFERENTES PUNTOS

Debido a fallas del sistema, el anillo de 230 KV. cerrado, como producto de la primera sincronización, operando bajo las nuevas condiciones, podría quedar abierto en cualquiera de los tramos. Para volver a tener el anillo cerrado, se pretende encontrar las mejores condiciones de demanda y del sitio más adecuado de sincronización.

Tener el SNI operando con cualquiera de sus tramos abiertos, constituye una situación emergente que tiene que ser llevada a condiciones normales.

En forma general, en cada uno de los tramos del anillo, previamente a su cierre, se lograron condiciones de operación aceptables. Se tuvo casos de problemas en la convergencia, de niveles de voltaje, etc., a pesar de recurrir a acciones sobre los generadores y sobre los elementos del SNI (capacitores, reactores, etc.)

Los tramos Paute - Riobamba y Paute - Totoras presentados en este numeral, para todas las demandas, se refieren a que el anillo se ha abierto en estos puntos, luego de que el sistema ha estado operando con el anillo cerrado, como producto de la primera sincronización (Casos Base).

Las diferencias en magnitud y ángulo de las barras de sincronización en diferentes puntos del anillo de 230 KV para todos los tramos y demandas se muestran en los cuadros 4.2 a), b) y c).

Los datos de voltaje y generación de las unidades del SNI previamente a la sincronización en los diferentes puntos del anillo de 230 KV constan en el anexo C.

1

Pág.: 50

TRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE Pu.	RINCIPAL ANGULO Grad.	BARRA F. VOLTAJE pu.	ICTICIA ANGULO Grad.	VARIAC VOLT. X	ION DE ANGULO Grad.
PAUTE RIOBAMBA	PAUTE	1.046	- 7.70	1.044	-36.70	0.20	29.00
	RIOBAMBA	0.985	-35.80	1.074	- 7.60	8.90	+28.20
PAUTE - TOTORAS	PAUTE	1.043	- 7.70	1.053	-36.20	1.00	28.50
	TOTORAS	<i>0.9</i> 87	-36.20	1.088	- 7.90	10.10	+28.30

CUADRO 4.1 (a) DIFERENCIA ANGULAR Y DE VOLTAJE EN LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION. CASO BASE. DEMANDA MAXIMA

IRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE pu.	RINCIPAL ANGULO Grad.	BARRA F. VOLTAJE Pu.	ICTICIA ANGULO Grad.	VARIAC VOLT. X	TON DE ANGULO Grad.
PAUTE - RIOBAMBA	PAUTE	1.029	- 7.80	1.043	-33.50	1.40	24.70
	RIOBAMBA	0.977	-33.60	1.068	- 7.70	9.10	+25.90
PAUTE - TOTORAS	PAUTE	1.030	- 7.70	1.064	-34.50	3.40	26.80
	TOTORAS	0.971	-34.10	1.074	- 8.00	10.30	+26.10

CUADRO 4.1 (b) DIFERENCIA ANGULAR Y DE VOLTAJE EN LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION. CASO BASE. DEMANDA MEDIA

TRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE Pu.	RINCIPAL ANGULO Grad.	BARRA F. VOLTAJE PU-	ICTICIA ANGULO Grad.	VARIAC VOLT_ X	ION DE ANGULO Grad.
PAUTE - RIOBAMBA	PAUTE	0.996	- 6.20	1.045	-21.50	4.90	15. 30
	RIOBAMBA	0.933	-20.80	1.029	- 6.30	3.60	+14.50
PAUTE - TOTORAS	PAUTE	0.997	- 6.20	1.061	-21.40	6.40	15.20
	TOTORAS	0.995	-20.70	1.046	- 6.40	5.10	+14.30

CUADRO 4.1 (c) DIFERENCIA ANGULAR Y DE VOLTAJE EN LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION. CASO BASE. DEMANDA MEDIA

CUADRO No 4.2 a)

VARIACION DE VOLTAJE EN MAGNITUD Y ANGULO DE LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV. DEL SNI

DRMANDA: MAXIMA

FECHA: JULIO DE 1991

IRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE PU.	ARRA PRINCIPAL BARRA FICTICIA DLTAJE ANGULO VOLTAJE ANGUL pu. Grad. pu. Grad		ICTICIA ANGULO Grad.	VARIAC VOLT. X	ION DE ANGULO Grad.
S ROSA - S DOMINICO	S.ROSA	1.026	-12.30	0.961	-35.30	6.50	23.00
5.105A - 5.2011400	S.DOMINGO	0.950	-34.80	1.034	-12.30	8.40	+22.50
ς τομινία - ομενείο	S.DOMINGO	1.029	-16.00	0.988	-26.90	4.10	10.90
	QUEVEDO	0.951	-26.00	1.056	-15.90	10.50	+10.10
QUEVEDO - PASCUALES	QUEVEDO	0.991	-27.90	1.022	-18.00	3.10	+ 9.90
QUEVEDO TIDOUILEO	PASCUALES	0.984	-18.10	0.988	-32.20	0.40	13.90
PASCUALES - MILAGRO	PASCUALES	0.958	-41.70	1.053	- 7.30	9.50	+34.40
	MILAGRO	1.049	- 7.20	0.970	-41.20	7.90	34.00
MTLAGRO - PAIITE	MILAGRO	0.987	-41.30	1.055	- 2.70	6.80	+38.60
minimonto moris	PAUTE	1.032	- 2.60	1.022	-41.30	1.00	38.70
PAUTE – RTOBAMBA	PAUTE	1.020	- 7.40	1.053	-34.20	3.30	26.80
	RIOBAMBA	0 .990	-33.80	1.049	- 7.50	5.90	++26 <i>.30</i>
PAIMTR - TYTTYPRAS	PAUTE	1.022	- 7.40	1.071	-33.50	4.90	26.10
	TOTORAS	1.005	-32.90	1.067	- 7.60	6.20	+25.30
TOTORAS - RTOBAMBA	TOTORAS	1.009	-32.10	1.048	- 9.60	5.90	+22.50
	RIOBAMBA	1.033	- 9.50	1.015	-32.40	1.80	22.50
S ROSA - TOTORAS	S.ROSA	0.963	-28.50	1.058	- 3.40	9.50	+24.90
5. KUSA - 1010KAS	TOTORAS	1.035	- 3.20	1.008	-28.50	2.70	25.30

CUADRO No 4.2 b)

VARIACION DE VOLTAJE EN MAGNITUD Y ANGULO DE LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV. DEL SNI

DEMANDA: MEDIA

FECHA: JULIO DE 1991

TRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE pu.	RINCIPAL ANGULO Grad.	LINCIPAL BARRA FICTICIA ANGULO VOLTAJE ANGUL Grad. pu. Grad		VARIACION L D VOLT. ANG L X Gr	
S ROSA - S DOMINICO	S.ROSA	0.964	-15.50	1.010	-31.90	4.60	16.40
5.R05A - 5.10/11/00	S.DOMINGO	1.014	-31.70	0.974	-15.50	4.00	+16.40
S DOMINICO - QUEVEDO	S.DOMINGO	0.987	18.40	0.996	-28.30	0.90	9.90
5.10/11/00 - 405/510	QUEVEDO	0 .9 60	-28.30	1.032	-18.40	7.20	+ 9.90
OUEVEDO - DASCUALES	QUEVEDO	1.013	-26.70	1.032	-20.10	1.90	+ 6.60
	PASCUALES	0 .9 64	-21.30	1.059	-27.30	9.50	6.00
PASCHALES - MILACEO	PASCUALES	1.003	-38.50	1.048	- 5.20	4.50	+33.30
FADOUALISD * III LAUNO	MILAGRO	1.045	- 5.00	1.006	-37.50	3.90	31.50
MTIAGRO - PAIME	MILAGRO	0.996	-41.60	1.029	- 2.20	3.30	+39.40
	PAUTE	1.006	- 2.10	1.046	-41.20	4.00	39.00
PAUTE - RIORAMBA	PAUTE	0.993	- 7.60	1.063	-34.00	7.00	26.40
THOIS - MICHAILM	RIOBAMBA	1.012	-33.30	1.024	- 7.70	1.20	+25.60
PAUTE - TOTORAS	PAUTE	0.996	- 7.30	1.068	-34.80	7.20	27.50
	TOTORAS	0.999	-34.10	1.041	- 7.50	4.20	+26.60
TOTORAS - RIOBAMBA	TOTORAS	0.985	-32.60	1.038	- 7.80	5.30	+24.80
	RIOBAMBA	1.026	- 7.70	1.011	-32.50	1.50	24.80
S ROSA TOTORAS	S.ROSA	0.962	-32.20	1.049	- 4.70	8.70	+27.50
	TOTORAS	1.034	- 4.60	1.010	-31.70	2.40	26.90

CUADRO No 4.2 c)

VARIACION DE VOLTAJE EN MAGNITUD Y ANGULO DE LAS BARRAS PREVIAS A LA SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV. DEL SNI

DEMANDA: MINIMA

FECHA: JULIO DE 1991

TRAMO	SINCRONIZAR DESDE	BARRA P. VOLTAJE pu.	RINCIPAL ANGULO Grad.	BARRA FICTICLA VOLTAJE ANGU pu. Grad		VARIAC VOLT. X	ION DE ANGULO Grad.
S ROSA - S DOMINCO	S.ROSA	0.976	- 8.40	1.040	-20.60	6.40	12.2
b. Nobel ~ B. Dellinde	S.DOMINGO	1.011	-20.40	0.992	- 8.40	1.90	+ 12.0
ς ρομινός - ομενερο	S.DOMINGO	0.991	-11.10	1.006	-17.40	1.50	5.7
D .100111100 - Q 0 B 7800	QUEVEDO	0.968	-17.40	1.017	-11.30	4.90	+ 6.1
OUFVEDO DASCUALES	QUEVEDO	0.971	-20.10	1.010	-11.60	3.90	+ 8.5
WORVERS - FASCOLLES	PASCUALES	0.976	-11.50	1.033	-20.20	5.70	8.7
DASCHAFES - MTLACEO	PASCUALES	0.967	-32.20	1.049	- 7.70	8.20	+ 24.5
FASUALLS - MILAONO	MILAGRO	1.040	- 7.70	0.976	-32.10	6.40	24.4
MTLACEO	MILAGRO	0.980	-34.10	1.022	- 4.70	4.20	-+29.40
DILHONO - FAUIS	PAUTE	0.973	- 5.70	0.994	-41.60	2.10	33.50
DALITE _ RIORAMBA	PAUTE	0.975	- 6.30	1.044	-22.50	6.90	15.90
FAULS - MICHAILE	RIOBAMBA	0.992	-21.50	1.007	- 6.40	1.50	+15.10
	PAUTE	0.976	- 6.30	1.058	-22.10	8.20	15.80
	IOIORAS	0.995	-21.30	1.024	- 6.40	2.90	-+14.90
TOTORAS - RIORAMRA	TOTORAS	0.995	-20.50	1.007	- 6.80	1.20	+13.70
101010 - AIUBA	RIOBAMBA	0.992	- 6.80	1.001	-20.60	0.90	13.80
S ROSA - TOTORAS	S.ROSA	0.950	-22.70	1.027	- 6.70	7.70	+ 16.0
	TOTORAS	1.006	- 6.60	0.977	-22.80	2.90	16.2

4.4 FLUJOS DE POTENCIA DESPUES DE LA SINCRONIZACION

la вincronización se buscó Debido a que previamente a condiciones adecuadas de operación del sistema, la situación sistema luego de la sincronización, en forma general, se del puede decir que fue aceptable, tanto para los casos base como para el cierre del anillo de 230 KV en diferentes puntos, salvo en casos especiales; los niveles de voltaje y de generación del sistema se mantienen dentro de los parámetros que aseguran una normal operación del SNI.

casos especiales se refieren a los tramos Milagro -Los Pascuales y Milagro - Paute, en demanda máxima y media; en los al cerrar el anillo, el sistema presenta sobre voltajes que considerables. Estas circunstancias hacen aue la sincronización por estos tramos sea crítica. En demanda mínima, en cambio, si se logra tener el niveles de voltaje aceptables después del cierre.

Si después de sincronizar, en cualquier caso, el sistema presentaba problemas de voltaje o de convergencia, se volvía al sistema original abierto, con el fin de buscar nuevas condiciones de operación previas, que aseguren una normal operación luego del cierre.

4.5 ANALISIS DE RESULTADOS

4.5.1 RESULTADOS DE LOS CASOS BASE

Los resultados de flujos de potencia previos a la primera sincronización (casos base), se los puede ver en los cuadros 4.1 a), b) y c), y en el anexo C; de éstos se puede resumir lo siguiente:

- El valor máximo de defasaje angular es de 29°, en el tramo Paute - Totoras, al sincronizar desde Totoras en demanda máxima, donde &V = 0.6%.
- El valor mínimo de defasaje angular es 14.3° en demanda mínima al sincronizar desde Paute entre Paute - Totoras, con un AV = 5.1%.
- En demanda media entre Paute Riobamba, al sincronizar desde Paute, tenemos un defasaje angular entre las barras de 24.7°, con una diferencia en magnitud de voltaje de 1.4 %.

En el cuadro 4.3 se puede ver un resumen del análisis hecho para los casos base.

Como se ve en el cuadro 4.3 los valores máximos, tanto de defasaje angular, como de diferencia de magnitud del voltaje entre las barras previamente a la sincronización, no son elevados; por lo tanto el cierre del anillo para cualquiera de las alternativas de los casos base no supondría efectos dañinos al sistema.

Debido a que demanda media es el período más adecuado, donde se realizan las operaciones en estado estable, se recomienda hacer la primera sincronización del anillo de 230 KV, en este período, en el tramo Paute - Riobamba, desde Paute.

Valores cuantitativos de los parámetros del sistema luego de la sincronización para los casos base, no se pone en consideración, ya que para cualquier caso, la operación del sistema con el anillo cerrado, es normal.

DEFASAJE Angular Grad.	DIFERENCIA DE VOLTAJE Z	OBSERVACIONES
14.3 Minimo	5.10	Sincronización desde Totoras, en demanda media, tramo: Paute - Totoras. Condiciones previas, normales.
29.0 Máxiso	0.2 Minimo	Sincronización desde Paute, en el tramo: Paute - Riobamba, en dem. Máxima. Buenas condiciones de operación.
26.3	10.3 Máximo	Desde Totoras, en demanda media, por el Tramo: Paute - Totoras. Condiciones previas al cierre aceptables.
24.7	1.4	Sincronización desde Paute en demanda media, en el tramo: Paute - Riobamba. Primera sincronización del anillo de 230 KV. recomendada en este sítio.

Cuadro 4.3 Resultados de Flujos de Potencia previos a la primera sincronización (casos base).

TRAMO	DESDE	DEMANDA	Δ δ GRAD.	AV Z	OBSERVACIONES
S. ROSA - S. DOMING	S, DOMINGO	MEDIA	16.4	4.0	Existen barras con bajo voltaje, pero las condiciones son mejores que en otras dem.
S. DOMINGO - QUEVEDO	S. DOMINGO	MEDIA	9.9	0.9	El defasaje es pequeño, las barras de bajo voltaje son pocas, sin consideración. Con- diciones aceptables.
QUEVEDO - PASCUALES	QUEVEDO	MEDIA	6.6	1.9	Condiciones similares a lo anterior, ba- jos voltajes no son de consideración. Condiciones de operación aceptables. Situación mejor que Dem. máxima.
PASCUALES - MILAGRO	MILAGRO	MINIMA	24.4	6.4	Recomendado por las condiciones críticas de los otros casos después del cierre. Si- tuación previa y posterior aceptables.
MILAGRO - PAUTE	MILAGRO	MINIHA	29.4	4.2	Semejante al caso anterior
PAUTE - RIOBAMBA	PAUTE	MEDIA	26.4	7.0	Difícil el control de los bajos voltajes que aparecen, pero la condición general es aceptable.
PAUTE - TOTORAS	PAUTE	MEDIA	27.5	7.2	El caso, aunque más forzado, es idéntico al anterior.
TOTORAS - RIOBAMBA	RIOBAMBA	MEDIA	24.8	1.5	El control de los voltajes es difícil pero se logran condiciones aceptables previas a la sincronización.
TOTORAS - S. ROSA	TOTORAS	MEDIA _	26.9	2.4	Situación de operación dífícil, control de voltajes complicado, a pesar de lograr una condición aceptable para la sincrøn., se tienen barras con bajo voltaje.

Cuadro 4.4 Resultados de Flujos de Potencia previos a la sincronización en diferentes puntos recomendados del anillo de 230 KV.

4.5.2 SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV DEL SNI.

Los resultados de Flujos de Potencia previos a la sincronización en diferentes tramos del anillo y en los tres períodos de demanda se los puede observar en los cuadros 4.2 a), b) y c) y en el anexo C.

En el cuadro 4.4 se puede ver un resumen del análisis para los diferentes casos de sincronización del anillo de 230 KV del SNI.

Los resultados del cuadro 4.4 corresponden a los Flujos de Potencia previos a la sincronización en aquellos puntos en que se la recomienda hacer, tanto por condiciones de defasaje angular, como por las diferencias en magnitud del voltaje de las barras.

Cabe destacar que todas las sincronizaciones se recomienda hacerlas en demanda media, a excepción de los tramos de Pascuales Milagro y Milagro - Paute que se lo haría en Dem. mínima.

La operación del SNI con el anillo de 230 KV cerrado, como producto de las sincronizaciones recomendadas, en los diferentes puntos, es aceptable, por lo que datos numéricos no se presentan.

CAPITULO 5

ANALISIS DE LOS TORQUES PROVOCADOS POR LA MANIOBRA DE CIERRE DEL ANILLO DE 230 KV DEL SNI

5.1 MODELACION DE LOS ELEMENTOS DEL SNI PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Con fines del estudio de estabilidad, donde lo que más interesa, para este caso, es conocer los torques a los ejes de las máquinas sincrónicas del SNI, se realiza una descripción general del modelo de la máquina sincrónica, de las turbinas y del sistema de excitación, empleados por el programa de estabilidad utilizado. La representación de otros elementos, como líneas de transmisión, transformadores, relés, etc., se pueden encontrar en la referencia 9.

5.1.1 MODELO DE LA MAQUINA SINCRONICA

En un estudio de estabilidad se puede tener a las Máquinas Sincrónicas representadas por modelos de variado detalle. Por ejemplo las máquinas cercanas a la perturbación pueden ser representadas por un modelo bien detallado, mientras que aquellas lejanas pueden ser representadas por modelos más simples. Además aquellas de localización intermedia pueden usar otros modelos.

En el desarrollo de Estabilidad, se identifica tres modelos básicos:

PRIMER MODELO: Es el modelo clásico de Estabilidad Transitoria, que usa la magnitud del voltaje detrás de la reactancia transitoria constante, cuando se la representa por su equivalente Norton, la reactancia transitoria (X´d) es una reactancia entre tierra y los terminales de la máquina y una corriente inyectada a este nodo igual a e´/X´d, donde e´ es el voltaje complejo detrás de X´d.

SEGUNDO MODELO: Este modelo permite la representación de los circuitos del estator y de dos circuitos del rotor. Los del rotor son el circuito de campo en el eje directo y el circuito del hierro en los ejes en cuadratura. Esta representación puede ser usada para incluir directamente una porción sustancial de los efectos del amortiguamiento. Este modelo puede incluir los efectos del sistema de excitación.

Cuando se representa por el equivalente Norton, se usa una reactancia a tierra igual a X´d y una corriente inyectada igual a e´/X´d, donde e´ es el voltaje complejo detrás de X´d. En este caso la magnitud y ángulo de e´ es función tanto de condiciones internas conocidas de la máquina y condiciones en los terminales. Por eso un procedimiento iterativo es utilizado para resolver los valores de e´.

TERCER MODELO: Es el modelo más detallado que representa los circuitos de estator y cuatro circuitos del rotor. Los circuitos del rotor son el circuito de campo, uno de amortiguamiento en el eje directo, y dos circuitos de amortiguamiento en el eje en cuadratura.

El segundo circuito de amortiguamiento en el eje en cuadratura, es para representar el circuito del hierro del rotor en una Turbina-Generador a vapor. En el caso de una máquina de rotor laminado (como Turbina-Generador hidráulico o motores sincrónicos) los datos para un sólo circuito de amortiguamiento en el eje en cuadratura son disponibles.

Cuando se representa por el equivalente Norton, este modelo la reactancia a la reactancia usa tierra igual а subtransitoria X"d y una corriente inyectada igual a e"/X"d, donde e" se determina por la solución de las ecuaciones diferenciales de la máquina y no es necesario iteraciones para este modelo.

Tomando en cuenta los datos de las máquinas que utiliza el programa de estabilidad del presente estudio, se ve que corresponde al segundo modelo.

5.1.2 SISTEMA DE EXCITACION

La simulación del regulador de voltaje y de la excitatriz está el modelo de la IEEE para representación basada en computacional de sistemas de excitación. De los cuatro IEEE, Tipo sistemas descritos por la el sistema 1 gue representa una acción continua del regulador, y excitatriz, y el sistema Tipo 4 que representa un regulador resistivo, han sido incluidos en el programa. En el anexo G se puede ver en más detalle esta representación.

5.1.3 MOTOR PRIMARIO

Los modelos de los motores primarios usados en el programa son más elaborados que aquellos usados en la mayoría de los programas de estabilidad.

Los dos tipos principales de motor primario que se describirá, son la Turbina Hidráulica y la Turbina a vapor.

5.1.3.1 TURBINA HIDRAULICA

El modelo de la Turbina Hidráulica se ve en en el anexo G. Esta representación, es usada en simulación de sistemas multi máquina. El modelo no es líneal y puede ser usado para varios estudios. Cada máquina sincrónica, representada por el programa, puede tener una Turbina Hidráulica representada por este grado de detalle.
5.1.3.2 TURBINA A VAPOR

La representación de la Turbina a vapor y sus controles puede verse en el anexo G. El modelo representa los efectos de los cambios de presión en la caldera debido a cambios en flujo de vapor de la turbina.

5.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL SNI

5.2.1 CRITERIOS UTILIZADOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO

- El estudio de los torques a los ejes provocados por la sincronización con defasaje angular se referirá a las unidades de INECEL por ser las más representativas.
- El torque a los ejes de la Turbinas-Generadores es el resultado de la diferencia del torque mecánico, que corresponde a la potencia del lado mecánico, menos el torque eléctrico opuesto al anterior y que corresponde a la potencia eléctrica del generador. Los valores de torque y potencia, son iguales en por unidad.
- A pesar de que el estudio de Estabilidad se hizo para todos y cada uno de los casos base y de la sincronización en diferentes puntos del anillo de 230 KV, en los anexos D, E y F correspondientes a este capítulo, únicamente se incluyen los resultados de los torques al eje, para todos los casos base y de aquellas sincronizaciones recomendadas en el Análisis de Flujos de Potencia (Cap.4); además se incluyen también, los valores de los torques para los tramos críticos ya señalados.
- En cuanto a los niveles de voltaje y frecuencia durante el período de estudio, no se hace un análisis detenido, ya que el interés primordial recae en los valores del torque al eje provocados.

5.2.2 ESTABILIDAD DEL SNI DEBIDO A LA SINCRONIZACION DEL ANILLO DE 230 KV.

En forma general el SNI no se ve afectado en su estabilidad al producirse las sincronizaciones del anillo de 230 KV. Esto era de esperarse, ya que, los valores de defasaje angular y las diferencias en magnitud del voltaje a los extremos de las barras de sincronización, previamente al cierre, no son de gran amplitud. Además las condiciones de operación del sistema cuando se tiene el anillo cerrado, en cualquiera de los casos, nos da una referencia de que el efecto sobre la estabilidad del sistema, que ejerce la maniobra, es mínimo.

Aún para los tramos considerados críticos por los sobrevoltajes que provocaban al sistema, al ser cerrados, es decir, Paute - Milagro y Milagro - Pascuales, en demanda máxima y media, respectivamente, el sistema presenta estabilidad, en el período estudiado.

De la bibliografía consultada no se ha encontrado una referencia de que sincronizaciones con ángulos, aún superiores a 30°, provoguen inestabilidad del Sistema Eléctrico.

5.2.3 ESTABILIDAD DEL SNI DEBIDO AL RECIERRE

El recierre planteado como ejemplo, se lo realiza para una falla trifásica en un circuito del tramo Paute - Milagro, cercana a la barra de Paute; para el SNI con el anillo de 230 KV cerrado y en demanda máxima.

El recierre simulado, provoca bruscos cambios en la frecuencia y en los niveles de voltaje, antes y después del despeje recierre; entre Despeje y el recierre, las variaciones de estos dos parámetros son menores.

Los valores de frecuencia y de voltaje durante y después de la maniobra, nos dan la idea de que el sistema es inestable; esto puede ser debido a los tiempos de despeje - recierre y a la severidad que implica una falla trifásica en este tramo del sistema.

Los torques a los ejes de las diferentes unidades, no son elevados, pudiéndose destacar que sobre Paute es donde se ejerce mayores esfuerzos debido a la maniobra. Independientemente de los resultados de estabilidad de frecuencia y voltaje, los valores máximos de los torques encontrados sobre el eje de Paute serán analizados.

5.3 TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS DEL SNI

5.3.1 SIMULACION DE LA SINCRONIZACION PARA EFECTOS DEL ESTUDIO DE ESTABILIDAD

El programa de estabilidad que se tiene a disposición permite estudiar fallas trifásicas y simular la apertura de líneas.

Debido a esta limitación la sincronización del anillo se simula de acuerdo a la figura 5.1.



Fig. 5.1 Diagrama de símulación de Sincronización

-

Entre las barras p y q de la fig. 5.1 existe una L/T, que previamente al cierre del sistema tiene que estar energizada. La barra r es ficticia y simula el extremo de la línea energizada físicamente separada de la barra q por el disyuntor de cierre. Entre r y q se presentan dos líneas en paralelo de impedancias despreciables, iguales y de signos contrarios, de tal manera que el efecto neto entre estas dos barras es circuito abierto. Por defectos del programa en el punto medio de la línea de signo negativo se introduce una barra interna s.



La sincronización se realiza simulando la apertura de la línea entre las barras s y r con lo cual entre r y q nos queda prácticamente un cortocircuito por el valor despreciable de la impedancia Zrq. En la fig. 5.2 se observa el sistema luego de la simulación de cierre.



Fig. 5.2 Diagrama equivalente después de la sincronización

5.3.2 TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS DEL SNI DEBIDO A LA SINCRONIZACION

Los resultados de los torques a los ejes de las máguinas del SNI, debidos a la sincronización para los casos base y para los diferentes puntos del anillo de 230 KV, que se especificó con anterioridad; constan en los anexos D, E y F en los respectivos cuadros y diagramas. El análisis de los torques У del comportamiento general sistema (voltajes del У frecuencia), durante el período transitorio de sincronización se lo realiza en el numeral 5.4 del presente capítulo.

Para realizar la simulación de la sincronización a cada una de las entradas de Estabilidad se les modificó su topología en el punto exacto de simulación de cierre, de tal forma que nos presente la estructura vista en la figura 5.1 del numeral 5.3.2.

El intervalo de tiempo de impresión de resultados es de 0.5 segundos, para un menor valor (0.01, 0.05, 0.1 seg.) el costo de tiempo del programa y de memoria del computador es muy alto en relación a la validez de los valores de torques intermedios. El intervalo de integración del programa es de 0.01 seg. El tiempo de estudio es suficiente para que el sistema se estabilize (8 - 10 seg.).

En el cuadro 5.1 se presentan los valores de los torques al eje de las unidades del SNI debido a la sincronización en el tramo Pascuales - Milagro, desde Milagro en demanda mínima. En la fig. 5.3 se ve el diagrama de variación del torque al eje de Paute en este tramo.

TIEMPO		TORQUE (pu)			
SEG,	PAUTE OSC.	PAUTE	G.ZEVALLOS	PUCARA	AGDYAN
O	0,0014	0,0024	0,0002	0,0008	0,0027
0,5	0,5632	0,6767	-0,1435	0,2500	0,4223
1	0,0752	0,0903	-0,2125	-0,0323	0.0020
1,5	-0,0386	-0,0234	0,1089	-0,0603	-0,0273
2	0,0139	0,0031	-0,0672	0,0408	0,0618
2,5	-0,0038	-0,0130	0,0406	0,0043	-0,0313
З	0,0118	0.0234	-0,0207	-0,0033	-0,0188
3,5	-0,0123	-0,0051	0,0113	-0.0023	0,0252
4	0,0112	0,0005	-0,0045	-0,0118	0,0124
4.5	0,0074	0,0069	0,0086	-0,0058	-0.0092
5	-0,0004	0.0105	0,0040	0,0193	0,0096
5,5	0,0050	0,0038	0,0084	0,0108	0,0101
6	0.0117	0,0057	0,0100	-0,0050	0,0018
6,5	0,0038	0,0095	0,0098	0,0038	0,0101
7	0,0029	0.0083	0,0087	0,0123	0,0104
7,5	0.0070	0,0044	0.0079	0,0090	<u>0,0018</u>
8	0,0033	0,0039	0,0056	0,0075	0,0046
8,5	-0,0007	0,0045	0,0024	0,0060	0,0073

Cuadro 5.1 Torques a los ejes de las máquinas del SNI debido a la sincronización en el tramo Pascuales - Milagro, Dem. Mínima, desde Milagro.



5.3.3 TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS DEL SNI DEBIDO AL RECIERRE

Los torques principales al eje de Paute como resultado del recierre se muestran en el cuadro 5.2, y en la fig. 5.4 se ve el diagrama del torque vs. tiempo debido a la maniobra. El tiempo de estudio para el recierre fue de 3 seg. con intervalos de impresión cada 0.05 seg.; siendo el tiempo de integración del programa de 0.01 seg. El despeje de la falla se hace en 0.073 seg. (4.38 ciclos) mientras que el recierre se hace en 0.4542 seg. (27.25 ciclos), para los dos casos , después de iniciada la falla. Estos valores son los que se opera en el SNI. [ref. 27].

TIENPO	TORQUE
580.	pu,
0	0.745
<u>n.t</u>	-0.006
0.2	-0.059
0,45	0,027
0.5	-0,027
1	0,232
1.6	0,82
1.7	0.6
1.8	_0,45
1,85	0,6
1,9	0,5
2	0,7
2,1	0,436
2,2	0,7
2,35	0,449
2.4	0,6
2,55	0.467
2,6	0,6
2,8	0.507
2,85	0,6
2,95	0.391
3	0,7





5.4 ANALISIS DE RESULTADOS

5.4.1 TORQUES DEBIDO A LOS CASOS BASE

La sincronización del anillo para los casos base (primera sincronización), no provoca torques de magnitud considerables, a los ejes de las máquinas; en general éstos se asemejan, y aún son menores, respecto a resultados vistos en la diversa bibliografía sobre sincronización con ángulos menores o semejantes a 30°.

En el cuadro 5.3 se ven los torques en la barra de Paute oscilante, para demanda media de los casos base. En las figuras 5.5 y 5.6 se ve el diagrama Torque vs. tiempo al eje de las unidades importantes del SNI debido a la sincronización en demanda media, desde Paute entre Paute - Riobamba; este caso corresponde al caso base recomendado para la primera sincronización.

La característica de la oscilación torsional de los diagramas de las fig. 5.5 y 5.6, para todos los casos es la misma, va desde un valor pico máximo,al inicio de la perturbación, decayendo rápidamente desde el tercer ciclo.

Las variaciones de la frecuencia y del voltaje durante el período de estudio para la sincronización de estos casos, no son de consideración. Al inicio de la perturbación (cierre) tienen una ligera desviación pero recobran su estado original rápidamente.

Los resultados de los torques a los ejes de las máquinas del SNI de los casos base se pueden ver en los cuadros del anexo D. En el anexo E se ven los respectivos diagramas de Torque vs. tiempo, y en el anexo F los torques máximos.

DEMANDA MEDIA CASOS BASE

PAUTE OSCILANTE

TRAMO :	PAUTE –	RIOBAMBA	PAUTE - T	OTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)	TORQUE AL EJE (pu)			
0,00 0,50 1,00 1,50 2,00 2,50 3,00 3,50 4,00 4,50 5,50 6,00 6,50 7,00 7,50 8,00	0,0022 0,1382 0,0702 -0,0272 -0,0075 0,0300 -0,0292 0,0340 -0,0024 0,0064 0,0264 -0,0025 0,0271 0,0068 0,0119 0,0150 -0,0029	0,0021 0,1396 0,0705 -0,0243 -0,0126 0,0353 -0,0287 0,0294 -0,0009 -0,0002 0,0316 -0,0033 0,0217 0,0104 0,0045 0,0150 -0,0046	0,0021 0,5124 0,0708 -0,0366 -0,0089 0,0255 -0,0306 0,0208 0,0023 -0,0038 0,0276 0,0002 0,0208 0,0203 0,0203 0,0125 0,0266 0,0112	0,0040 0,5253 0,0678 0,2253 0,0010 0,0169 -0,0292 0,0279 -0,0116 0,0102 0,0208 0,0025 0,0316 0,0144 0,0268 0,0283 0,0171

Cuadro 5.3 Torques al eje de Paute Oscilante debido a la sincronización en demanda media de los casos base





5.4.2 TORQUES PROVOCADOS POR LA SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV DEL SNI.

El estudio de estabilidad para la sincronización se hizo para las tres demandas, para todos los tramos y por todos los lados, del anillo de 230 KV. El análisis se lo hace únicamente, para las situaciones recomendadas en el Capítulo 4.

En el cuadro 5.1 y en la fig. 5.3 se vio un caso de sincronización considerado importante por los valores de los torques provocados; esto es en el tramo Pascuales - Milagro en demanda mínima. Las observaciones que se pueden realizar de este caso, son idénticas a las hechas en el numeral 5.4.1 y además son válidas para el resto de los casos.

Cabe anotar que los defasajes angulares encontrados en la mayoría de los casos eran similares, así como también sus torques resultantes; pero, a pesar de que en los tramos S. Domingo - Quevedo y Quevedo - Pascuales los defasajes son menores, los torques son parecidos; esto puede deberse a que no sólo el ángulo influye en la magnitud de los torques, sino también parámetros de la red como reactancias y el estado de generación de las unidades el momento del cierre.

5.4.3 TORQUES PROVOCADOS POR EL RECIERRE

Del cuadro 5.2 y de la fig. 5.4 se ve que previo al despeje de la falla, los torques al eje son del orden de 0.75 pu.; decayendo bruscamente el momento del despeje. Entre el depeje y recierre el torque tiende a subir; pero al producirse el recierre cae otra vez y, enseguida sigue subiendo hasta un valor máximo de 0.82 pu en 1.6 seg, para oscilar el valor entre 0.7 y 0.4 pu. en tiempos posteriores.

5.4.4 OBSERVACIONES GENERALES

- El comportamiento de Paute y de Agoyán es regular durante todos los casos estudiados de cierre; con un torque pico máximo en 0.5 seg. después de la sincronización; para luego amortiguarse rápidamente y estabilizarse.
- Para la central de Gonzalo Zevallos los torques son insignificantes, a exepción los de tramos Pascuales -Milagro y Milagro - Paute, donde el máximo pico positivo se produce en 1.5 seg., se observa torques negativos menores a -0.25 pu en 0.5 y 1.0 seg. en ciertos casos.
- En lo referente a Pucará, en los tramos Paute Riobamba, Paute - Totoras y Totoras - Riobamba, el torque pico es negativo un tiempo después del primer ciclo siguiente a la perturbación (1.0 seg.). Entre Totoras - S. Rosa existe un pico "considerable" de 0.682 (0.5 s.). En el resto de tramos el comportamiento es similar al de Paute y Agoyán.
- El comportamiento de S. Rosa es variable, ya que en la mayoría de los casos actúa como compensador sincrónico, por lo tanto no habrían variaciones de potencia activa; pero en los primeros ciclos (hasta 2.5 seg.) de los casos expuestos, se producen torques en ciertos casos de magnitud semejante al de las otras unidades.
- Guangopolo en el único tramo, de los recomendados en el capítulo de Flujos de Potencia, que está en operación se comporta igual que Paute o Agoyán.
- El comportamiento de las unidades analizadas, luego de los 3 ciclos posteriores a la sincronización, tiende a estabilizarse rápidamente.

- El recierre estudiado muestra algunos picos del torque (Fig. 5.4) al eje de Paute, esta característica se nota también en Agoyán, pero con menores magnitudes, en las demás unidades el torque es insignificante. Para el análisis de fatiga se tomará a cada pico individualmente, para luego sumar sus efectos y encontrar una fatiga total debida al recierre. [ref. 4].

CAPITULO 6

ESTIMACION DE PERDIDA DE VIDA UTIL DE LAS UNIDADES DEL SNI

6.1 METODO DE CALCULO DE FATIGA DE LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS.

Para apreciar el daño por fatiga de los ejes de las máquinas sincrónicas, bajo condiciones de esfuerzos torsionales, se utiliza una técnica que calcula el porcentaje de pérdida de vida causada por cada amplitud del esfuerzo y entonces sumarlos para obtener el porcentaje total de pérdida de vida. Esto es conocido como la regla de Miner, expresada cuantitativamente: [ref. 4].

 Σ ni/Nfi = fracción de pérdida de vida. (6.1)

Donde

ni = número de ciclos de un iésimo nivel de esfuerzo Nfi = # de ciclos requeridos por el iésimo nivel de esfuerzo para producir la fractura.

Cuando la fracción de expectación de vida es igual a 1, la regla del Miner predice ruptura del material.

La fig. 6.1 muestra un diagrama de la variación del torque (pu) vs. el número de ciclos para el inicio de la falla. El porcentaje de pérdida de vida útil del eje es obtenido de la siguiente manera:

- Como la variación del torque (pu) ocurrido en el sistema, (ordenada de la curva), obteniéndose el número de ciclos (N) a partir del cual existe la posibilidad de falla del eje (absisa de la curva).

- Se toma el inverso de N multiplicado por 100, se obtiene el valor de pérdida de vida en porcentaje.
- Se suma todos los valores de cada ciclo, obteniéndose la pérdida de vida total del eje.[ref. 1].



Número de ciclos para inicio de falla

Fig. 6.1 Diagrama de Fatiga (T-N). Torque - Número de ciclos para la falla [ref. 1]

Ejm. para una oscilación de valor de 1 pu. tenemos que el Número de ciclos para inicio de la falla es 10⁴, entonces el porcentaje de pérdida de vida ocasionado por esta oscilación es:

6.2 APLICACION DEL METODO A LAS MAQUINAS DEL SNI

Tomando como base el método expuesto en el numeral 3.2 del capítulo 3 y del 6.1 del presente; para su aplicación a las máquinas del SNI se han realizado las siguientes consideraciones:

- Es necesario conocer las curvas de Variación del Torque vs. Número de ciclos para la falla (T-N) de los materiales de los ejes de las máguinas del SNI. Siendo éstas de tipo probabilístico basadas en pruebas sobre muestras de material, las mismas no se las debe tomar como valores rigurosos, sino estimativos.
- Basados en muchas pruebas durante muchos años, se ha determinado que las curvas logarítmicas T-N para los aceros son líneales aproximadamente para valores entre 10³ y 10⁸ ciclos, existiendo un codo en este punto, y llegando a ser invariante luego de los 10⁷ ciclos. Para los materiales ferrosos (eje de Paute), la curva T-N es más inclinada, con un límite de fatiga menor que los aceros. [ref. 15].
- A excepción del diámetro del eje, o en ciertos casos de su material, otros parámetros necesarios para construir la curva T-N no fueron encontrados; por lo cual de la ref. 3 y de la anterior consideración, se han proyectado valores con el fin de construir curvas "aproximadas" para usarlas en el estudio.
- Para realizar una estimación cuantitativa de la pérdida de vida útil de los ejes de las máguinas del SNI debido a los torgues encontrados en el estudio de estabilidad, se usará la ecuación (3.20) del capítulo 3.

$$Nf = 1/2 \left[\frac{4 \times T}{PI \times R3 \times \left[Ln(\frac{1}{1-q}) \right]^n \times \sigma} \right]^{1/n^2 c}$$
(6.2)

Ecuación para la estimación de la curva de fatiga de los ejes de las máquinas sincrónicas de las unidades del SNI. [ref. 4]

Donde en la ec. (6.2):

T es el torque máximo en pu.

R es el radio del eje de la máguina en m.

q Porcentaje de reducción de área

- σο Coeficiente de resistencia al esfuerzo psi. (Límite de fatiga)
- n Exponente de resistencia al esfuerzo
- c Exponente de facilidad a la fatiga
- n' Exponente que depende del material y dimensiones

estos parámetros son considerados para cada uno de los ejes y de acuerdo a las curvas de fatiga (T-N) que constan en el anexo H.

Los valores de fatiga debido a los torques provocados por las sincronizaciones más importantes se pueden ver en el anexo H. En el análisis de resultados se describirá con más detalle estos efectos.

6.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Las curvas de torque (pu) vs. Número de ciclos para la falla presentan un límite de fatiga menor al usadas. de la ref. 4. se obliga a que, ante operaciones en estado estable y con esto contingencias en el sistema, que provocan esfuerzos a los ejes, se recurra a una revisión y mantenimiento períodico de las unidades. Las curvas de fatiga se las puede ver en el anexo H.

lo referente a los valores calculados del porcentaje de En pérdida de vida útil %PV, de los ejes de las unidades del SNI, debidos a la sincronización del anillo de 230 KV, y que se pueden ver en el anexo H, en el cuadro 6.1, se hace un resumen se puede observar que los porcentajes de pérdida de vida γ. (máximos), para los valores de los torques máximos encontrados para las unidades del SNI, son despreciables. De esta forma se puede afirmar que las sincronizaciones, sea en los casos base o en los diferentes puntos del anillo de 230 KV, no causan riesgo a los ejes de los grupos Turbina-Generador. Desde este las sincronizaciones se pueden hacer punto de vista por lado; pero por consideraciones de operación del cualquier sistema (niveles de voltaje), se presentó en el Capítulo 4 los lugares recomendados.

La fatiga causada por el recierre de la falla en un circuito del tramo Paute - Milagro se la analiza para el eje de Paute, ya que la maniobra afecta mayormente a esta unidad, por su cercanía del lugar de la falla.

En el cuadro 6.2 se ven los torques pico (pu) principales que se presentan con el recierre, el número de éstos (No), el número de ciclos necesarios para que los mismos causen falla del eje (Nf), el porcentaje de pérdida de vida del eje (%PV) por ciclos y el %PV total de la oscilación.

En el cuadro 6.2 el %PV total es igual al producto de(No) por el(%PV) por ciclo; y la suma de todos éstos nos da el %PV Total del eje de Paute debido al recierre.

CENTRAL	TORQUE MAXIMO (pu)	NO DE CICLOS PARA LA FALLA NÍ	PERDIDA DE VIDA DEL EJE % (PV)
Paute Oscil.	0.5632	7.90 x 10 ^e	1.27 x 10-5
Paute	0.6800	4.10 x 10 ⁶	2.40 x 10-5
G. Zevallos	0.1912	4.35 x 1012	2.30 x 10-11
Pucará	0.6820	5.30 x 107	1.90 x 10-6
S. Rosa	0.3600	1.46 x 1011	6.84 x 10-10
Guangopolo	0.3340	5.61 x 1010	1.80 x 10-9
Agoyán	0.5380	9.20 x 10 ⁶	1.10 x 10-5

Cuadro 6.1 Torques y fatigas máximas a los ejes de las unidades del SNI, debido a la sincronización.

Torque (pu)	No	Num. Ciclos para falla	XPV por ciclo	XPV Total
0.82	1	2.15 x 10 ⁶	4.64x10-5	4.64x10-5
0.70	З	3.72 x 10 ⁶	2.70x10-5	8.10x10-5
0.60	5	6.33 x 10 ⁶	1.60x10-5	8.00x10-5

% DE PERDIDA DE VIDA (%PV) TOTAL DEL EJE DE PAUTE, DEBIDO AL RECIERRE...... 2.07 X 10-4

> Cuadro 6.2 Torques máximos y fatiga al eje de Paute debido al recierre de una falla trifásica en un circuito del tramo Paute - Milagro. Secuencia de tiempos: Despeje = 0.073 seg. (4.38 ciclos), Recierre = 0.4542 seg. (27.25 ciclos)

6.3.1 OBSERVACIONES GENERALES

- El impacto en el porcentaje de pérdida de vida útil de los ejes, debido a la sincronización, cuando los ángulos no sobrepasan los 30°, verificados para el SNI, es insignificante; por lo tanto para apreciar un daño por fatiga al eje, se deberían realizar un gran número de sincronizaciones (del orden de 10⁶ operaciones), teniendo cuidado de no sobrepasar el defasaje antes mencionado.
- El recierre es un evento no programado, por lo tanto los efectos en la fatiga torsional de los ejes, que causarían los torques provocados por esta maniobra, son dignos de un análisis más profundo y detenido, del que se ha hecho aquí.

Sin embargo de los valores encontrados en este estudio, se puede ver que el torque máximo en Paute fue de 0.82 pu., que es mayor a los provocados por sincronización, la fatiga provocada, tanto por sincronización como por recierre, para el eje de Paute es semejante, del orden del 10^{-5} %.

- En las referencias 1 y 4 se presentan dos curvas de fatiga, típicas para materiales de ejes del grupo Turbina-Generador, estas se pueden ver en la fig. 6.1У fig. 3.13respectivamente; comparándolas, vemos límite que el de fatiga que presenta la primera, es mucho menor que el de la segunda; así también, el número de ciclos del codo de las diferente. Esta particularidad ratifica curvas es elteoría de la fatiga no criterio de que la adelanta resultados rigurosos.

6.4 GUIA PARA MINIMIZAR EFECTOS PELIGROSOS DEBIDOS A OPERACIONES DE CIERRE PLANEADAS EN ESTADO ESTABLE.

En la ref.12 se plantea una guía para minimizar efectos peligrosos debido a operaciones de cierre-apertura planeadas en estado estable, propuesta por la IEEE, y que a continuación se la pone a consideración como complemento al trabajo aquí desarrollado.

Esta guía define un AP, que puede ser calculado por un programa de estabilidad, cuyo propósito es determinar si los eventos de cierre planeados en estado estable, resultan en deterioro de los componentes de Turbinas-Generadores. Este AP es un indicador que depende tanto del ángulo de cierre, como de la impedancia del sistema.

Eventos no planificados de cierre, como son cierre de emergencia de líneas, fallas de sincronización, rechazo de carga, despeje y recierre de fallas, están más allá del alcance de esta guía.

6.4.1 DEFINICIONES

Debido a la complejidad en la descripción de deterioro o daño de las Turbinas-Generadores durante los eventos de cierre, las siguientes definiciones son incluídas.

 AP: Es el cambio súbito de la potencia en el instante del cierre en pu. calculada sobre la capacidad del generador en MVA como base.

AP = Pt0+ - Pt0donde Pt0+ es la potencia posterior al cierre y Pt0- es el nivel de potencia antes del cierre.

- Deterioro: Es la pérdida de vida, es un proceso por el b) cual las componentes de la Turbina-Generador experimentan estructura, que empeora o destruye cambio en la apreciablemente la capacidad de desempeñar sus funciones. deterioro son fatiga del eje Los modos del у, aflojamiento, desplazamiento, rozamiento y desgaste de los componentes rotativos o estacionarios.
- c) Fatiga: Es el proceso de localización progresiva permanente de cambios estructurales en algún punto o puntos del material, sujeto a esfuerzos fluctuantes, los cuales pueden culminar en fractura después de un número suficiente de fluctuaciones.
- d) Operaciones de Cierre-Apertura en estado estable: con respecto a la Turbina-Generador, ésta es una operación simple de cierre-apertura no asociada con una perturbación transitoria del sistema.

6.4.2 PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR UN EVENTO DE CIERRE-APERTURA EN ESTADO ESTABLE

- a) Usando programa de estabilidad un transitoria, normalmente empleado para estudios de simulación, ве determina el cambio súbito de potencia promedio, AP, de la Turbina-Generador de un evento de cierre planificado en estado estable.
- b) Si el valor de AP no es exedido en el valor de 0.5 pu, la operación es aceptable.
- c) Si el valor de AP exede a este nivel, para una operación cualquiera mencionada, se recomienda realizar el procedimiento del numeral 6.4.3, si AP es mucho mayor que 0.5, se recomienda investigar otras alternativas de operación.

6.4.3 INFORMACION REQUERIDA PARA EVALUAR LOS POSIBLES EFECTOS DE UN EVENTO DE CIERRE-APERTURA

Los elementos básicos a ser evaluados son corriente del generador, potencia y velocidad para los instantes inicial (sub-transitorio) y para las dos o tres siguientes oscilaciones. Los datos requeridos son:

- a) Pre Cierre-Apertura (t=0-):
 a.1) Potencia del generador (P)
 a.2) Potencia reactiva del generador (Q)
 a.3) Voltaje terminal del generador
 a.4) Corriente del generador
- b) Post Cierre-Apertura (t=0+):
 Los datos anteriores, para este tiempo.
- c) Reporte de la corrida de estabilidad de la potencia del generador y velocidad para dos otres oscilaciones.
- d) Impedancia equivalente de secuencia positiva (R y X) del sistema, vista desde los terminales del generador, para pre y post cierre-apertura.

Los datos anteriores proveerán de información suficiente para la estimación de daño a los componentes de Turbinas-Generadores, debido a eventos planificados de cierre-apertura en estado estable.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El efecto resultante de la maniobra de sincronización con defasaje angular, es el impacto que sufren las componentes de las máquinas sincrónicas, en especial el eje; producido por cambios repentinos de su potencia eléctrica y manifestado como variación del torque. Estas variaciones son función directa del ángulo de defasaje y sobre todo, de la impedancia del sistema.
- Las maniobras de sincronización en el Sistema Nacional Interconectado se pueden realizar con alto grado de confianza con defasajes angulares de hasta 30°, sin que se vea afectada la seguridad operativa del sistema ni la vida útil de los equipos de generación.
- La sincronización de partes de un Sistema de Potencia, en general es una maniobra programada, es decir que previamente a su realización se investigan las condiciones de operación de la red mediante Flujos de Potencia. En el caso de ocurrir la apertura de alguna parte de éste, la situación emergente se la lleva a una operación aceptable, con el fin de que el cierre posterior no afecte la integridad de los componentes del sistema.
- En determinados casos, del estudio de Flujos de Potencia para el SNI, se pudo observar que los torques a los ejes debidos a la sincronización, eran de las mismas magnitudes, a pesar de que los ángulos variaban considerablemente. Esto puede deberse a que la reactancia del sistema ejerce una influencia directa en los esfuerzos. Esta situación se da especialmente en demanda mínima.

- Los menores defasajes angulares fueron observados en demanda mínima, y desde este punto de vista, las sincronizaciones deberían realizarse en este período, pero como la maniobra es de carácter programado, y además, como las diferencias de los efectos no son tan grandes, si el cierre hace en uno u otro período, la operación se haría en forma general en demanda media; lo anterior no se verifica, cuando existen condiciones críticas de funcionamiento del sistema posteriores al cierre. Esta excepción se da en el SNI en los tramos Paute - Milagro y Milagro - Pascuales, donde la sincronización se realiza en demanda mínima.
- Las sincronizaciones con los defasajes angulares presentados, no afectaron la estabilidad del SNI, aunque queda cierta duda de que es lo que pasa con la estabilidad para sincronizaciones con ángulos mucho mayores, no se encontró en la bibliografía consultada, ningún caso de inestabilidad bajo maniobras de sincronización fuera de fase.
- De la bibliografía consultada se observa que las magnitudes máximas de los torques siguientes a la sincronización, crecen con el incremento del ángulo entre los terminales del disyuntor. En el estudio realizado para el SNI, los ángulos de defasaje y los torques resultantes en demanda máxima y media fueron similares, y, aunque los defasajes en demanda mínima son menores, la diferencia de magnitudes de torques pico no fue apreciable.
- En un SEP existen diferentes perturbaciones que provocan esfuerzos torsionales a los ejes de las máquinas sincrónicas; de aquellos, se destacan por el grado de esfuerzo que causan el recierre no exitoso de fallas trifásicas, el despeje de fallas en sistemas de simple circuito, la sincronización con ángulos mayores a los 30°, etc.

- Los valores de los torques provocados por la simulación del recierre de la falla trifásica en el SNI, no provocan una fatiga considerable a los ejes de las máquinas; pero se vio que afectaban notablemente la estabilidad del sistema.
- El proceso de fatiga de los materiales de los ejes de Turbinas-Generadores no es un problema sujeto a teorías rigurosas que adelanten resultados cuantitativos estrictos, sino que como se basa en registros históricos prácticos sobre muestras de material, sirve como guía de las condiciones de operación a las que debe estar sujeto un elemento hecho de este material.
- El método de cálculo de fatiga utilizado en el trabajo, hace aproximaciones gruesas, permite utilizar parámetros de materiales que tengan las curvas de fatiga similares, y no toma en cuenta ciertos factores importantes de fatiga como forma, tamaño, acabado, etc, por esto los valores de porcentaje de pérdida de vida encontrados, se los debe analizar en forma cualitativa.
- Se debe destacar que a pesar de que el método de fatiga está fijado para máquinas térmicas, éste fue adoptado inclusive, para las unidades hidráulicas.
- Las curvas de fatiga expuestas en el trabajo, consideran que bajo la acción de torques a los ejes por debajo de 0.5 pu., éstos no sufren ningún daño y su fatiga es despreciable; pero a partir de torques superiores a 3 pu. la fatiga se hace considerable.
- diferencia de los módulos de las tensiones - La los en debe ser un factor restrictivo terminales del disyuntor no el accionamiento del mismo, dado que no influye para significativamente en los esfuerzos impuestos a las máguinas cuando se cierra el anillo.

Pag.: 90

7.2 RECOMENDACIONES

- La primera sincronización del anillo de 230 KV del Sistema Nacional Interconectado se recomienda hacerla en el tramo Paute - Riobamba, en demanda media y desde Paute; las condiciones previas a la primera sincronización desde este sitio son favorables, ya que el defasaje angular entre las barras es de 24.7° y una diferencia en magnitud de voltaje de 1.4 %. Las sincronizaciones en diferentes puntos del anillo, se harían en demanda media a excepción de los tramos Pascuales - Milagro y Paute - Milagro, que se las haría en demanda mínima.
- Las diversas maniobras de rutina en el sistema interconectado deberán ser evaluadas mediante estudios, para establecer las mejores condiciones de su ejecución, que aseguren una mínima o despreciable fatiga a los componentes de los equipos, así como también una operación estable del mismo, luego de realizada la maniobra.
- El ángulo entre los terminales de un disyuntor, no es una medida determinante para decidir si un anillo debe ser cerrado o no; sino que se recomienda hacer un análisis de los efectos que éste provocaría en los esfuerzos sobre los ejes, ya que la variación del torque también depende grandemente de la impedancia del sistema.
- En lo que se refiere a las maniobras de sincronización, en el anillo de 230 KV, se recomienda no sobrepasar los 30° de defasaje angular y una diferencia del 10% de magnitud de voltaje. Si se observan valores de defasaje mayores, siendo la maniobra impresindible, se deberán tomar las medidas más convenientes, con el fin de minimizar los efectos dañinos.

- El procedimiento empleado para el estudio de la influencia del defasaje angular en maniobras de Sincronización de Sistemas de Potencia, puede utilizarse además para investigar los efectos de fatiga a los ejes, provocados por otros tipos de perturbaciones, tales como cortocircuitos, fallas de sincronización, cierres de emergencia, etc.
- puede tomar - Un criterio ве en cuenta para la que sincronización, y en general para las maniobras en estado estable, es el de la potencia acelerante, que según la guía para minimizar efectos peligrosos de la IEEE, debe ser menor igual al 50% de la potencia nominal de la máquina. De esta forma se evita una contribución significativa a la pérdida de vida útil de los ejes y la fatiga sería dada por impactos no programados, tales como cortocircuitos, sincronizaciones fuera de fase, cierres de emergencia, etc.

Ocacionalmente el valor del 50% puede ser exedido si es que la maniobra (en condiciones de emergencia) se considera imprescindible para el sistema.

- De acuerdo a los resultados de los torques de interés para la fatiga, los cuales se presentan un ciclo después de realizada la sincronización, para futuros estudios se recomendaría que la simulación del estudio de estabilidad sea hecha para un tiempo menor al escogido aquí, con lo que se ahorraría costos de memoria y tiempo, y se tendría una mejor visualización del fenómeno en sí.

- El uso de las curvas de fatiga expuestas, se recomienda hacerlo desde un punto de vista cualitativo y no cuantitativo; ya que son el producto de estimaciones, basadas en estudios realizados por autores, que a su vez, manifiestan que la fatiga no es el tipo de problema que se ajuste a teorías rigurosas, ni que adelante resultados cuantitativos estrictos.
- En futuros trabajos que complementen el estudio, se recomienda tratar de tomar el mismo procedimiento propuesto, e investigar en mas detalle aspectos, como modelación del eje del sistema, características de los materiales y factores que inciden en la fatiga, los mismos, que por constituirse, éste, en uno de los primeros estudios en este campo, no se han podido exponer con la profundidad deseada.

ANEXO A

• .

Diagramas unifilares y geográfico del SNI.



-



Pág.: A 1

÷

24





c




ANEXO B

Demandas, factores de potencia de las empresas interconectadas y Programación de Generación de las Unidades del SNI.

DEMANDAS Y FACTOR DE POTENCIA DE LAS EMPRESAS ELECTRICAS

INTERCONECTADAS

DEMANDA: MAXIMA FECHA: JULIO/91

AREA #	EMPRESAS	DEMA MW	NDAS MVAR.	FAC.POT. Fp.
2	EMELEC	367.9	137.7	0.9366
З	E.E. QUITO S.A.	276.7	95.86	0.9449
	E.E. AMBATO	42.0	11.6	0.9642
	E.E. COTOPAXI	20.8	6.6	0.9529
4	E.E. RIOBAMBA	27.6	8.7	0.9542
	E.E. BOLIVAR	5.7	1.7	0.9578
5	EMELNORTE (IBARRA)	38.5	15.2	0.9302
6	EMELMANABI	72.5	22.3	0.9557
7	EMELESA (ESMERALDAS)	22.7	8.4	0.9377
8	EMELGUR (QUEV-DAUL-DURAN)	48.9	20.0	0.9250
10	E.E. MILAGRO	26.1	9.4	0.9413
11	E.E. CENTRO SUR (CUENCA)	61.2	21.2	0.9450
12	C.E. SANTO DOMINGO	21.1	11.7	0.8749
13	EMELRIOS (BABAHOYO)	19.5	7.2	0.9383
14	E.E. PENINSULA STA.ELENA	20.1	7.2	0.9409
15	E.E.R. SUR (LOJA)	21.4	6.6	0.9555
16	EMELORO (MACHALA)	42.4	14.2	0.9481
]	COTAL PAIS	1135.1	405.9	0.9416

DEMANDAS Y FACTOR DE POTENCIA DE LAS EMPRESAS ELECTRICAS INTERCONECTADAS

DEMANDA: MEDIA

FECHA: JULIO/91

AREA #	EMPRESAS	DEMAI MW .	NDAS MVAR	FAC.POT. Fp.
2	EMELEC	322.3	84.2	0.9676
З	E.E. QUITO S.A.	222.7	90.4	0.9266
	E.E. AMBATO	24.2	7.9	0.9506
	E.E. COTOPAXI	12.7	4.5	0.9426
	E.E. RIOBAMBA	13.6	5.9	0.9174
	E.E. BOLIVAR	2.1	1.1	0.8860
5	EMELNORTE (IBARRA)	24.1	9.5	0.9309
6	EMELMANABI	41.2	17.8	0.9183
7	EMELESA (ESMERALDAS)	16.3	7.5	0.9086
8	EMELGUR (QUEV-DAUL-DURAN)	30.7	11.7	0.9349
10	E.E. MILAGRO	14.1	4.8	0.9463
11	E.E. CENTRO SUR (CUENCA)	36.8	14.8	0.9274
12	C.E. SANTO DOMINGO	11.7	6.8	0.8654
13	EMELRIOS (BABAHOYO)	14.8	5.0	0.9460
14	E.E. PENINSULA STA.ELENA	9.9	3.6	0.9398
15	E.E.R. SUR (LOJA)	9.7	2.7	0.9633
16	EMELORO (MACHALA)	23.5	5.5	0.9740
ŗ	FOTAL PAIS	830.3	283.5	0.9464

DEMANDAS Y FACTOR DE POTENCIA DE LAS EMPRESAS ELECTRICAS INTERCONECTADAS

DEMANDA: MINIMA FECHA: JULIO/91

AREA #	EMPRESAS	DEMAI MW .	NDAS MVAR	FAC.POT. Fp.
2	EMELEC	134.7	39.3	0.9601
З	E.E. QUITO S.A.	87.7	39.2	0.9131
	E.E. AMBATO	16.3	6.2	0.9347
	E.E. COTOPAXI	7.8	2.9	0.9373
4	E.E. RIOBAMBA	13.5	5.1	0.9355
	E.E. BOLIVAR	1.7	0.7	0.9247
5	EMELNORTE (IBARRA)	18.0	7.2	0.9296
6	EMELMANABI	39.7	12.3	0.9552
7	EMELESA (ESMERALDAS)	16.5	7.6	0.9085
8	EMELGUR (QUEV-DAUL-DURAN)	26.1	9.8	0.9359
10	E.E. MILAGRO	13.6	4.6	0.9471
11	E.E. CENTRO SUR (CUENCA)	20.5	8.3	0.9272
12	C.E. SANTO DOMINGO	9.8	5.8	0.8619
13	EMELRIOS (BABAHOYO)	10.8	3.2	0.9600
14	E.E. PENINSULA STA.ELENA	12.8	4.6	0.9419
15	E.E.R. SUR (LOJA)	9.2	2.6	0.9641
16	EMELORO (MACHALA)	23.5	7.9	0.9475
1	TOTAL PAIS	462.3	167.0	0.9405

PROGRAMACION DE GENERACION DE LAS UNIDADES DEL SNI DEMANDA: MAXIMA FECHA: JULIO/91

	TIPO	GENERA	ACION	EMPRESA		
CENTRALLO	1110	MW.	MVAR.	ENFICEDA		
PAUTE (A B)	HIDRAULICA	495.0	155.3			
FUCARA	HIDRAULICA	70.0	26.2			
AGDYAN	HIDRAULICA	156.0	75.0			
ESMERALDAS	TERMICA	-	-			
GONZALO ZEVALLOS	TERMICA	140.0	100.0	INECEL		
TERMICA QUITO	TERMICA	24.3	18.2			
SANTA ROSA	TERMICA	34.0	44.0			
TOTAL	INECEL	919.3	418.7			
VAPOR GUAYAQUIL	TERMICA	25.0	18.7			
VAPOR 1 SALITRAL	TERMICA	30.0	18.6			
GAS GUAYAQUIL	TERMICA	20.0	12.4	EMELEC		
TOTAL	EMELEC	75.0	49.7			
CUMBAYA	HIDRAULICA	29.0	14.3			
NAYON	HIDRAULICA	21.8	12.3			
GUANGOPOLO	HIDRAULICA	9.5	7.1			
PASOCHO + CHILLOS	HIDRAULICA	3.7	2.8	EEQSA		
GUALBERTO HERNANDEZ	TERMICA	15.0	11.3			
TOTAL	EEQSA	79.0	47.8			
AMBATB	HIDRAULICA	2.7	1.1			
LATACUNGA	HIDRAULICA	5.1	1.5	R		
RIOBAMBA	HIDRAULICA	10.0	7.5	E		
EMELNORTE	HIDRAULICA	10.0	7.5	G		
CENTRO SUR	HIDRAULICA	30.0	13.4	I		
	TERMICA	18.0	13.5	O		
EMELMANABI	TERMICA	7.0	5.6	N		
E.E. REGIONAL SUR	TERMICA	-	-	A		
EMELORB	TERMICA	7.0	5.3	L		
	·			Ŕ		
				S		
TOTAL	REGIONALES	89.8	55.4			
GENERACION TO	TAL DEL SNI	1163.1	571.6			

Pág.: B 5

CUADRO No B.5

PROGRAMACION DE GENERACION DE LAS UNIDADES DEL SNI DEMANDA: MEDIA FECHA: JULI0/91

	TIPO	GENER	ACION	EMPRESA			
	1110	MW.	MVAR.	ENERESH			
PAUTE (A B)	HIDRAULICA	495.0	153.3				
PUCARA	HIDRAULICA	45.0	14.8				
AGDYAN	HIDRAULICA	156.0	75.0				
ESMERALDAS	TERMICA	-					
GONZALO ZEVALLOS	TERMICA	60.0	100.0	INECEL			
TERMICA QUITO	TERMICA						
SANTA ROSA	TERMICA	-	44.0				
TOTAL			770 (
	INELEL	/51.4	3/9.6				
VAPOR GUAYAQUIL	TERMICA	20.0	18.7				
VAPOR 1 SALITRAL	TERMICA	20.0	18.6				
GAS GUAYAQUIL	TERMICA	-		EMELEC			
ΤΠΤΔΙ		40.0	37 3				
		22.0	14 3				
		20.2	 				
	HIDRALL ICA						
	HIDRALL ICA			FEDRA			
GUALBERTO HERNANDEZ	TERMICA						
TOTAL	EEQSA	42.2	22.8				
AMBATO	HIDRAULICA	2.7	1.1				
LATACUNGA	HIDRAULICA	4.0	1.5	R			
RIOBAMBA	HIDRAULICA	10.0	7.5	E			
EMELNORTE	HIDRAULICA	3.0	1.5	G			
CENTRO SUB	HIDRAULICA	21.7	10.5	I			
	TERMICA			. 0			
EMELMANABI	TERMICA			N			
E.E. REGIONAL SUR	TERMICA			A			
EMELORO	TERMICA			L			
				E			
				S			
TOTAL	REGIONALES	41.4	22.0				
GENERACION TOT	AL DEL SNI	875.0	461.7				

PROGRAMACION DE GENERACION DE LAS UNIDADES DEL SNI DEMANDA: MINIMA FECHA: JULI0/91

		GENERA	CION	EMPRESA		
	11.0	MW -	MVAR.			
PAUTE (A B)	HIDRAULICA	300.0	106.9			
PUCARA	HIDRAULICA	10.0	4.5			
AGOYAN	HIDRAULICA	78.0	37.8			
ESMERALDAS	TERMICA	-				
GONZALO ZEVALLOS	TERMICA	40.0	17.4	INECEL		
TERMICA QUITO	TERMICA		-			
SANTA ROSA	TERMICA		44.0			
TOTAL	INECEL	428.0	211.6			
VAPOR GUAYAQUIL	TERMICA	20.0	18.7			
VAPOR 1 SALITRAL	TERMICA	15.0	9.3			
GAS GUAYAQUIL	TERMICA			EMELEC		
e 						
TOTAL	EMELEC	35.0	28.0			
CUMBAYA	HIDRAULICA	9.3	5.0			
NAYON	HIDRAULICA	6.5	2.7			
GUANGOPOLO	HIDRAULICA	-	-			
PASOCHO + CHILLOS	HIDRAULICA	-	-	EEQSA		
GUALBERTO HERNANDEZ	TERMICA	[_			
				-		
	EEQSA	15.8	7.7			
AMBATO	HIDRAULICA	2.7	1.2			
LATACUNGA	HIDRAULICA	4.0	2.1	R		
RIOBAMBA	HIDRAULICA	10.0	7.5	E		
EMELNORTE	HIDRAULICA	3.0	1.5	G		
CENTRO SUR	HIDRAULICA	10.0	4.8	I		
	TERMICA			D		
EMELMANABI	TERMICA			N		
E.E. REGIONAL SUR	TERMICA			A		
	TERMICA			L		
				E		
u10f				S		
TOTAL	REGIONALES	29.7	18.1			
GENERACION TO	TAL DEL SNI	508.5	266.1			

ANEXO C

· ·

.

Voltaje y generación de las unidades del SNI previos a la sincronización del anillo de 230 KV.

CUADRO C.1 VOLTAJES Y GENERACION DE LAS UNIDADES DEL SNI PREVIOS A LA SINCRONIZACION - CASOS BASE

C.1 a) DEMANDA MAXIMA

TRAMO:	PAUTE – RIOBAMBA							
SINCR. DESDE:		PAUTE			RIOBAMB	A		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT Pu.	PGEN MW	QGEN MVAR		
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.050 1.000 1.050 1.050 1.023 0.975	493.5 140.0 70.0 34.0 24.3 156.0	153.0 87.2 25.4 40.5 18.2 2.9	1.050 1.050 1.040 1.050 1.006 0.975	494.5 140.0 70.0 34.0 24.3 156.0	150.6 87.2 26.2 43.0 18.0 11.5		
	PAUTE - TOTORAS							
TRAMO:		PAUT	E – T	ΟΤΟ	r a s			
TRAMO: SINCR. DESDE:		PAUT PAUTE	E - T	οτο	R A S TOTORAS			
TRAMO: SINCR. DESDE: CENTRAL	VOLT pu.	PAUTE PAUTE PGEN MW	E – T QGEN MVAR	OTO VOLT pu.	R A S TOTORAS PGEN MW	QGEN MVAR		

.

C.1 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:		PAUTE – RIOBAMBA							
SINCR. DESDE:		PAUTE			RIOBAMBA				
CENTRAL	VOLT Pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu	PGEN MW	QGEN MVAR			
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.025 1.020 0.998 1.050 - 0.965	481.5 60.0 45.0 - 156.0	106.3 44.1 4.4 42.9 - 4.2	1.035 1.020 0.986 1.033 - 0.985	481.3 60.0 40.0 - 156.0	89.0 42.6 4.8 44.0 - 31.0			
	F								
TRAMO:		PAUT	<u></u> <i>E</i> – <i>T</i>	ΟΤΟ	RAS				
IRAMO: SINCR. DESDE:		PAUT PAUTE		ΟΤΟ	R A S TOTORAS				
TRAMO: SINCR. DESDE: CENTRAL	VOLT pu.	P A U T PAUTE PGEN MW	E – T QGEN MVAR	OTO.	R A S TOTORAS PGEN MW	QGEN MVAR			

C.1 d) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	PAUTE - RIOBAMBA							
SINCR. DESDE:		PAUTE			RIOBAMBA			
CENTRAL	VOLT Pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR		
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.962	153.50 40.0 10.0 - - 78.0	- 11.2 3.4 1.3 - 4.7 - 10.0	0.960 0.970 0.997 0.950 - 0.960	153.0 40.0 10.0 - - 78.0	- 32.8 2.3 4.5 - 1.0 - - 3.4		
TRAMO:		PAUT	$\overline{E} - T$	ΟΤΟ	RAS			
SINCR. DESDE:		PAUTE			TOTORAS			
CENTRAL	VOLT PU.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR		
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.960 0.970 1.007 0.950 - 0.972	153.50 40.0 10.0 - - 78.0	- 13.5 1.2 - 8.2 - 10.0	0.960 0.970 0.998 0.950 0.960	153.4 40.0 10.0 - 78.0	- 39.5 1.3 4.5 - 1.8 - - 3.6		

.

CUADRO C.2 VOLTAJES Y GENERACION DE LAS UNIDADES DEL SNI PREVIOS A LA SINCRONIZACION EN LOS DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV.

IRAMO:	ST.	A.RO	<u>SA</u> –	S T O.	DOMI	NGO	
SINCR. DESDE:		STA. ROSA STO. DOMINGO					
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR	
PAUTE	1.050	503.8	107.1	1.050	503.8	101.0	
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	89.5	1.050	140.0	85.2	
PUCARA	1.040	70.0	11.0	1.040	70.0	7.6	
STA. ROSA	1.050	31.0	29.2	1.050	31.0	28.8	
GUANGOPOLO	1.045	24.3	18.2	1.030	24.3	12.3	
AGOYAN	1.001	156.0	6.5	1.000	156.0	1.6	

C.2.1 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.1 b)	D	Ε	М	A	N	D	A	M	E	D	I	A
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

TRAMO:	ST.	A. RO	SA –	S T O.	DOMI	NGO
SINCR. DESDE:		STA. ROS	A	ST	O. DOMIN	GO
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.010 1.000 0.996 1.080 - 1.000	481.8 60.0 30.0 - 156.0	37.0 31.6 4.8 44.0 - 31.5	1.010 1.000 0.984 1.025 - 0.975	487.9 60.0 30.0 - 156.0	50.1 37.0 4.8 44.0 - 20.6

C.2.1 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	STA. ROSA - STO. DOMINGO					
SINCR. DESDE:		STA. ROS.	A	STO. DOMINGO		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.955 0.960 0.993 0.950 - 0.955	253.0 40.0 10.0 - 78.0	- 63.7 - 7.6 4.5 3.9 - 5.6	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.968	252.7 40.0 10.0 - - 78.0	- 61.3 2.0 3.4 - 0.4 - 2.1

TRAMO:	STO. DOMINGO – QUEVEDO					EDO
SINCR. DESDE:	STO. DOMINGO			QUEVEDO		
CENIRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.050 1.050 1.040 1.050 1.030 1.030	478.6 140.0 70.0 31.0 24.3 156.0	71.2 83.4 7.8 30.2 13.8 9.8	1.050 1.050 1.040 1.050 1.030 1.030 1.010	467.1 140.0 70.0 31.0 24.3 156.0	73.8 88.8 6.1 26.6 11.6 7.2

C.2.2 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.2 b) DEMANDA MEDIA

IRAMO:	S T	STO. DOMINGO - QUEVEDO				EDO
SINCR. DESDE:	STO. DOMINGO QUEVEDO					
CENTRAL	VOLT Pu-	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.010 1.000 0.990 1.037 - 0.975	486.0 60.0 30.0 - 156.0	43.1 39.0 4.8 44.0 - 15.7	1.010 1.000 1.007 1.050 - 0.975	486.1 60.0 30.0 - - 156.0	40.1 46.0 4.8 38.3 - 4.2

C.2.2 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	STO. DOMINGO – QUEVE				EDO	
SINCR. DESDE:	ST	O. DOMIN	GO		QUEVEDO	
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR
PAUTE	0.960	251.7	- 62.3	0.960	251.8	- 46.0
G. ZEVALLOS	0.970	40.0	3.2	0.970	40.0	10.5
PUCARA	1.000	10.0	3.1	1.000	10.0	1.5
STA. ROSA	0.950	-	- 1.0	0.950	-	- 4.2
GUANGOPOLO	-	-	-	-	-	-
AGOYAN	0.968	78.0	2.7	0.968	78.0	- 4.8

TRAMO:	Q	QUEVEDO - PASCUALES				
SINCR. DESDE:	QUEVEDO			PASCUALES		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR
PAUTE	1.050	474.7	56.7	1.050	490.8	84.7
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	72.5	1.050	140.0	83.0
PUCARA	1.040	70.0	12.6	1.040	70.0	17.5
STA. ROSA	1.050	31.0	37.8	1.044	31.0	43.0
GUANGOPOLO	1.027	24.3	18.2	1.012	24.3	18.2
AGOYAN	1.010	156.0	15.8	1.010	156.0	22.5

C.2.3 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.3 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:	QUEVEDO – PASCUALES					
SINCR. DESDE:		QUEVEDO		PASCUALES		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.040 1.030 1.005 1.050 - 0.975	484.6 60.0 30.0 - 156.0	33.7 33.1 4.8 40.8 - 3.4	1.010 1.000 1.004 1.050 - 0.975	480.0 60.0 30.0 - - 156.0	32.2 45.0 4.8 37.8 - 5.4

C.2.3 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	Q	QUEVEDO – PASCUALES				
SINCR. DESDE:	QUEVEDO			-	PASCUALE	5
CENTRAL	VOLT pu_	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOY AN	0.960 0.970 0.998 0.950 - 0.968	252.3 40.0 10.0 - - 78.0	- 61.4 3.1 4.5 2.3 - 0.5	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.968	252.3 40.0 10.0 - - 78.0	- 55.3 11.2 2.3 - 3.7 - 4.0

TRAMO:	PASCUALES – MILAGRO						
SINCR. DESDE:		PASCUALES			MILAGRO		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR	
PAUTE	1.045	356.2	11.1	1.050	355.5	17.9	
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	88.6	1.050	140.0	81.6	
PUCARA	1.040	70.0	19.9	1.040	70.0	17.9	
STA. ROSA	1.039	31.0	43.0	1.047	31.0	43.0	
GUANGOPOLO	1.013	24.3	18.2	1.021	24.3	18.2	
AGOYAN	0.995	156.0	14.4	0.995	156.0	11.8	

C.2.4 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.4 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:	PASCUALES - MILAGRO					
SINCR. DESDE:	PASCUALES			MILAGRO		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.016 1.020 1.002 1.050 - 0.970	290.9 60.0 30.0 - 156.0	- 58.8 25.6 4.8 41.8 - 4.0	1.020 1.000 1.000 1.050 - 0.975	289.1 60.0 30.0 - 156.0	- 43.4 11.2 3.6 41.7 - 7.0

C.2.4 c) DEMANDA MINIMA

IRAMO:	P .	A S C U .	ALES	- M I	LAGR	0
SINCR. DESDE:	PASCUALES			MILAGRO		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.000 0.970 - 0.950 - 0.968	257.7 40.0 - - 78.0	- 51.0 15.6 - 1.7 - 2.1	1.000 0.970 - 0.950 - 0.975	257.6 40.0 - - 78.0	- 45.8 11.6 - 0.5 - 5.4

TRAMO:		MILAGRO – PAUTE					
SINCR. DESDE:		MILAGRO			PAUTE		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR	
PAUTE	1.030	271.4	- 12.0	1.030	271.4	- 7.8	
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	66.1	1.050	140.0	58.1	
PUCARA	1.040	70.0	15.8	1.040	70.0	15.6	
STA. ROSA	1.050	31.0	39.2	1.050	31.0	38.2	
GUANGOPOLO	1.031	24.3	18.2	1.030	24.3	17.2	
AGOYAN	0.995	156.0	10.7	0.995	156.0	10.7	

C.2.5 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.5 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:		MILAGRO – PAUTE					
SINCR. DESDE:	MILAGRO			PAUTE			
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.002 1.000 1.001 1.047 - 0.985	245.8 60.0 30.0 156.0	- 34.6 12.7 4.8 44.0 - 17.5	0.997 1.000 1.005 1.050 - 0.985	245.6 60.0 30.0 - 156.0	- 20.9 - 2.6 4.8 41.5 - 14.2	

C.2.5 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:		MILAGRO – PAUTE					
SINCR. DESDE:		MTLAGR	0		PAUTE		
CENTRAL	VOLT pu_	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.978 0.970 1.000 0.950 - 0.975	214.5 40.0 10.0 - 78.0	- 41.2 6.8 1.4 - - 2.1	0.960 0.970 0.985 0.950 - 0.968	236.9 40.0 10.0 - - 78.0	- 16.0 12.6 4.5 9.4 - 11.7	

TRAMO:		PAUTE – RIOBAMBA				
SINCR. DESDE:	PAUTE			RIOBAMBA		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR
PAUTE	1.050	476.5	134.2	1.050	476.8	106.7
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	95.2	1.050	140.0	97.8
PUCARA	1.004	70.0	0.0	1.000	70.0	5.9
STA. ROSA	1.050	31.0	38.0	1.042	31.0	43.0
GUANGOPOLO	1.028	24.3	18.2	1.011	24.3	18.2
AGOYAN	0.980	156.0	5.5	0.980	156.0	18.9

C.2.6 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.6 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:		PAUTE – RIOBAMBA				
SINCR. DESDE:		PAUTE		RIOBAMBA		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.010 1.000 1.009 1.050 - 0.995	462.4 60.0 30.0 - 156.0	79.9 43.9 0.0 36.3 - 11.5	1.010 1.000 1.010 1.050 - 0.995	462.1 60.0 30.0 - 156.0	49.4 42.9 4.1 39.8 - 18.9

C.2.6 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:		PAUTE – RIOBAMBA				
SINCR. DESDE:		PAUTE		RIOBAMBA		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu_	PGEN MW	QGEN MVAR
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.968	253.8 40.0 10.0 - - 78.0	- 19.0 9.5 - 3.4 - 3.4 - 5.9	0.960 0.970 0.999 0.950 - 0.968	253.6 40.0 10.0 - - 78.0	- 40.0 9.3 4.5 - 0.3 - 1.6

TRAMO:		PAUTE - TOTORAS					
SINCR. DESDE:	PAUTE			TOTORAS			
CENTRAL	VQLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	Pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR	
PAUTE	1.050	476.0	128.2	1.050	476.2	102.7	
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	92.1	1.050	140.0	93.4	
PUCARA	1.040	70.0	12.1	1.040	70.0	17.6	
STA. ROSA	1.050	31.0	33.8	1.050	31.0	40.0	
GUANGOPOLO	1.030	24.3	15.3	1.027	24.3	18.2	
AGOYAN	0.990	156.0	1.4	0.990	156.0	12.4	

C.2.7 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.7 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:		PAUTE - TOTORAS					
SINCR. DESDE:		PAUTE			TOTORAS		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.010 1.000 1.010 1.050 - 0.975	452.0 60.0 30.0 - 156.0	73.0 35.6 2.6 37.1 - -	1.010 1.000 1.002 1.044 - 1.000	451.8 60.0 30.0 - 156.0	45.2 36.7 4.8 44.0 - 29.6	

C.2.7 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:		PAUTE – TOTORAS					
SINCR. DESDE:		PAUTE			TOTORAS		
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.969	253.8 40.0 10.0 - - 78.0	- 20.9 8.3 0.0 - 5.9 - 10.0	0.960 0.970 1.000 0.950 - 0.968	253.6 40.0 10.0 - - 78.0	- 46.6 7.4 4.5 - 0.5 - 1.4	

TRAMO:		TOTORAS - RIOBAMBA,				
SINCR. DESDE:	TOTORAS			RIOBAMBA		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN
	pu.	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR
PAUTE	1.050	485.0	102.7	1.050	485.2	111.0
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	87.2	1.050	140.0	88.6
PUCARA	1.040	70.0	15.6	1.040	70.0	14.2
STA. ROSA	1.050	31.0	41.8	1.050	31.0	41.1
GUANGOPOLO	1.021	24.3	18.2	1.022	24.3	18.2
AGOYAN	1.010	156.0	23.9	1.010	156.0	22.3

C.2.8 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.8 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:	T	TOTORAS - RIOBAMBA					
SINCR. DESDE:		TOTORAS		RIOBAMBA			
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu_	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.020 1.000 0.986 1.034 - 0.980	451.1 60.0 30.0 - 156.0	53.1 35.5 4.8 - 25.9	1.020 1.000 1.008 1.050 - 0.995	450.5 60.0 30.0 - 156.0	51.5 31.5 15.8 42.3 - 20.4	

C.2.8 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	TOTORAS - RIOBAMBA						
SINCR. DESDE:		TOTORAS			RIOBAMBA		
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	Pu-	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR	
PAUTE	0.960	253.3	- 41.0	0.960	253.3	- 35.5	
G. ZEVALLOS	0.970	40.0	7.7	0.970	40.0	8.1	
PUCA RA	1.000	10.0	4.5	1.008	10.0	3.7	
STA. ROSA	0.950	-	- 0.5	0.950	-	- 1.4	
GUANGOPOLO		-	-	-	-	-	
AGOYAN	0.968	78.0	1.1	0.968	78.0	0.9	

TRAMO:	S	STA. ROSA - TOTORAS					
SINCR. DESDE:		STA. ROS	A	TOTORAS			
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN	
	pu.	MW	MVAR	Pu.	MW	MVAR	
PAUTE	1.040	353.4	44.3	1.040	353.5	42.1	
G. ZEVALLOS	1.050	140.0	92.5	1.050	140.0	85.7	
PUCARA	1.040	70.0	25.8	1.040	70.0	22.8	
STA. ROSA	1.020	31.0	43.0	1.050	31.0	42.1	
GUANGOPOLO	0.985	24.3	18.2	1.015	24.3	18.2	
AGOYAN	1.000	156.0	4.7	1.000	156.0	7.9	

C.2.9 a) DEMANDA MAXIMA

C.2.9 b) DEMANDA MEDIA

TRAMO:	S	STA. ROSA - TOTORAS					
SINCR. DESDE:	STA. ROSA			TOTORAS			
CENTRAL	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	VOLT pu.	PGEN MW	QGEN MVAR	
PAUTE G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	1.010 1.000 0.991 1.020 - 0.988	412.7 60.0 30.0 - 156.0	23.5 45.2 4.8 44.0 - -	1.010 1.000 1.010 1.050 - 0.993	412.0 60.0 30.0 - 156.0	14.5 37.4 4.8 41.9 -	

C.2.9 c) DEMANDA MINIMA

TRAMO:	STA. ROSA - TOTORAS					
SINCR. DESDE:		STA. ROSA			TOTORAS	
CENTRAL	VOLT	PGEN	QGEN	VOLT	PGEN	QGEN
	PU-	MW	MVAR	pu.	MW	MVAR
PAUTE	0.960	258.0	- 55.3	0.960	257.7	- 51.6
G. ZEVALLOS	0.970	40.0	12.0	0.970	40.0	9.8
PUCARA	0.992	10.0	4.5	0.99 <u>2</u>	10.0	4.5
STA. ROSA	0.950	-	15.0	0.950	-	8.2
GUANGOPOLO	-	-	-		-	-
AGOYAN	0.968	78.0	- 7.9	0.968	78.0	- 3.8

ANEXO D

Torques a los ejes de las máguinas Sincrónicas debido a la primera sincronización (Casos Base) y en los diferentes puntos recomendados. Del anillo de 230 KV del SNI

CUADRO D.1 TORQUES A LOS EJES DE LAS MAQUINAS DE INECEL DEBIDO A SINCRONIZACION DEL ANILLO DE 230 KV CASOS BASE

D.1 a) DEMANDA MAXIMA

PAUTE OSCILANTE

TRAMO :	PAUTE - RIOBAMBA		PAUTE - TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI ()	E AL EJE pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0026 0,1303 0,0822 -0,0262 -0,0127 0,0403 -0,0354 0,0240 0,0093 -0,0033 0,0321 -0,0012 0,0180 0,0161 0,0033 0,0164 -0,0010	0,0026 0,1314 0,0835 -0,0258 -0,0133 0,0399 -0,0346 0,0234 0,0099 -0,0037 0,0310 -0,0015 0,0168 0,0157 0,0025 0,0152 -0,0015	0,0023 0,2514 0,0656 -0,0201 -0,0161 0,0344 -0,0319 0,0134 0,0109 -0,0060 0,0311 0,0039 0,0160 0,0198 0,0051 0,0180 0,0047	0,0025 0,3509 0,0654 -0,0233 -0,0148 0,0267 -0,0290 0,0153 0,0100 -0,0046 0,0274 0,0025 0,0190 0,0190 0,0200 0,0196 0,0062

PAUTE

TRAMO :	PAUTE –	RIOBAMBA	PAUTE - 2	TOTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,6 6,5 7,5 8	0,0027 0,1316 0,0818 -0,0273 -0,0116 0,0402 -0,0358 0,0232 0,0087 -0,0030 0,0323 -0,0012 0,0184 0,0165 0,0043 0,0175 -0,0002	0,0027 0,1328 0,0831 0,0269 -0,0122 0,0398 -0,0351 0,0229 0,0094 -0,0034 0,0312 -0,0015 0,0171 0,0160 0,0035 0,0162 -0,0007	0,0026 0,2592 0,0661 -0,0196 -0,0142 0,0334 -0,0331 0,0133 0,0113 -0,0052 0,0308 0,0035 0,0166 0,0207 0,0062 0,0187 0,0052	0,0027 0,3544 0,0656 -0,0207 -0,0140 0,0263 -0,0296 0,0150 0,0095 -0,0046 0,0272 0,0023 0,0192 0,0203 0,0111 0,0204 0,0270

.

GONZALO ZEVALLOS

TRAMO :	PAUTE - RIOBAMBA		PAUTE – TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQU	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0026 0,0678 -0,0366 -0,0038 0,0177 -0,0148 0,0047 0,0005 0,0112 0,0190 0,0192 0,0204 0,0222 0,0214 0,0215 0,0172 0,0111	0,0031 0,0831 -0,0426 -0,0036 0,0203 -0,0173 0,0054 0,0153 0,0230 0,0230 0,0230 0,0256 0,0250 0,0250 0,0250 0,0243 0,0193 0,0113	0,0029 0,1697 -0,0500 0,0051 0,0086 -0,0116 -0,0027 0,0054 0,0194 0,0200 0,0256 0,0277 0,0281 0,0297 0,0264 0,0214	0,0031 0,2287 -0,0563 0,0154 -0,0096 -0,0091 -0,0120 0,0029 0,0063 0,0167 0,0159 0,0217 0,0279 0,0317 0,0329 0,0307 0,0260

.

PUCARA

.

.

TRAMO :	PAUTE -	RIOBAMBA	PAUTE – T	OTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL ÉJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,6 6,5 7,5 8	0,0107 0,2344 -0,0293 -0,0233 -0,089 -0,0577 0,0924 0,0001 0,0000 0,0206 -0,0157 0,0520 0,0291 0,0216 0,0303 0,0010 0,0220	0,0104 0,2326 -0,0303 -0,0221 -0,0061 -0,0589 0,0881 -0,0039 -0,0023 0,0247 -0,0106 0,0533 0,0270 0,0160 0,0270 0,0160 0,0226	0,0107 0,5006 -0,0153 0,0086 -0,0467 0,0783 0,0064 -0,0079 0,0141 -0,0226 0,0377 0,0346 0,0263 0,0386 0,0084 0,0191	0,0110 0,6973 0,0030 0,0017 0,0193 -0,0553 0,0409 -0,0316 -0,0111 0,0386 0,0136 0,0136 0,0529 0,0193 0,0070 0,0259 0,0131 0,0329

SANTA ROSA

TRAMO :	PAUTE –	RIOBAMBA	PAUTE -	TOTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL EJE (pu)	
0 0,5 1,5 2,5 3,5 4 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0012 0,0947 -0,6938 0,4891 -0,3791 0,3144 -0,1644 -0,0391 0,1324 -0,0500 0,1512 0,0609 0,0291 0,1259 0,0197 0,0812 0,0412	0,0012 0,0853 -0,6732 0,4885 -0,3818 0,3074 -0,1644 -0,0385 0,1400 -0,0468 0,1459 0,0559 0,0218 0,1215 0,0171 0,0738 0,0353	0,0015 0,2194 -0,6879 0,4635 -0,3379 0,2597 -0,1247 -0,0688 0,1003 -0,0512 0,1129 0,0806 0,0300 0,1265 0,0429 0,0821 0,0726	0,0018 0,3276 -0,6959 0,5068 -0,3882 0,2309 -0,1809 -0,0409 0,1188 -0,0415 0,1024 0,0468 0,0312 0,1376 0,0550 0,1026 0,0750

GUANGOPOLO

TRAMO :	PAUTE - R	IOBAMBA	PAUTE - T	OTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	É AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,6 5,5 6,5 7,5 8	0,0638 0,1267 -0,0613 0,1012 0,0136 0,0626 0,0568 0,0593 0,0609 0,0609 0,0609 0,0609 0,0761 0,0741 0,0794 0,0790 0,0835	0,0613 0,1210 -0,0658 0,0996 0,0144 0,0630 0,0646 0,0556 0,0572 0,0609 0,0605 0,0757 0,0724 0,0770 0,0790 0,0770 0,0770 0,0770	0,0626 0,2395 -0,0671 0,0959 0,0070 0,0580 0,0539 0,0531 0,0498 0,0543 0,0498 0,0642 0,0642 0,0642 0,0695 0,0737 0,0724 0,0774	0,0634 0,3687 -0,0626 0,0951 0,0218 0,0617 0,0556 0,0444 0,0444 0,0527 0,0523 0,0650 0,0617 0,0671 0,0720 0,0737 0,0794

AGOYAN

TRAMO :	PAUTE – RIOBAMBA		PAUTE - TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQU	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0031 0,2423 -0,1822 0,0406 0,1226 -0,1357 0,0983 -0,0485 -0,0051 0,0771 -0,0437 0,0496 0,0004 -0,0052 0,0424 -0,0135 0,0192	0,0032 0,2427 -0,1790 0,0401 0,1221 -0,1367 0,0962 -0,0439 -0,0052 0,0765 -0,0448 0,0458 0,0017 -0,0055 0,0421 -0,0137 0,0164	0,0032 0,5369 -0,1467 0,0110 0,1206 -0,1205 0,0783 -0,0335 -0,0196 0,0735 -0,0330 0,0398 0,0124 -0,0103 0,0409 -0,0053 0,0167	0,0032 0,7593 -0,1344 0,0042 0,1054 -0,1251 0,0812 -0,0232 -0,0051 0,0612 -0,0440 0,0357 0,0104 0,0035 0,0427 -0,0058 0,0193

D.1 b) DEMANDA MEDIA

PAUTE OSCILANTE

TRAMO :	PAUTE –	RIOBAMBA	PAUTE - T	OTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL EJE (pu)	
0,00 0,50 1,00 1,50 2,00 2,50 3,00 3,50 4,00 4,50 5,00 5,50 6,50 7,00 7,50 8,00	0,0022 0,1382 0,0702 -0,0272 -0,0075 0,0300 -0,0292 0,0340 -0,0024 0,0064 0,0264 -0,0025 0,0271 0,0068 0,0119 0,0150 -0,0029	0,0021 0,1396 0,0705 -0,0243 -0,0126 0,0353 -0,0287 0,0294 -0,0009 -0,0002 0,0316 -0,0033 0,0217 0,0104 0,0150 -0,0045 0,0150	0,0021 0,5124 0,0708 -0,0366 -0,0089 0,0255 -0,0306 0,0208 0,0023 -0,0038 0,0276 0,0002 0,0208 0,0203 0,0125 0,0266 0,0112	0,0040 0,5253 0,0678 0,2253 0,0010 0,0169 -0,0292 0,0279 -0,0116 0,0102 0,0208 0,0025 0,0316 0,0144 0,0268 0,0283 0,0171

.

PAUTE

TRAMO :	PAUTE 3	RIOBAMBA	PAUTE -	TOTORAS
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0025 0,1428 0,0701 -0,0264 -0,0055 0,0285 -0,0299 0,0343 -0,0017 0,0068 0,0257 -0,0021 0,0282 0,0282 0,0077 0,0126 0,0155 -0,0017	0,0024 0,1444 0,0703 -0,0233 -0,0105 0,0337 -0,0295 0,0301 0,0059 0,0002 0,0231 0,0112 0,0155 -0,0034	0,0023 0,5314 0,0736 -0,0344 -0,0087 0,0225 -0,0309 0,0225 0,0028 -0,0045 0,0262 0,0007 0,0223 0,0207 0,0223 0,0207 0,0124 0,0127	0,0024 0,5423 0,0705 -0,0403 0,0006 0,0145 -0,0290 0,0290 -0,0117 0,0092 0,0197 0,0030 0,0323 0,0146 0,0269 0,0290 0,0290 0,0290 0,0290 0,0188

GONZALO ZEVALLOS

TRAMO :	PAUTE – RIOBAMBA		PAUTE – TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQU	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0006 0,0177 -0,0489 0,0180 -0,0194 0,0059 -0,0175 0,0177 0,0024 0,0173 0,0180 0,0204 0,0277 0,0246 0,0276 0,0249 0,0151	0,0006 0,0173 -0,0479 0,0203 -0,0221 0,0133 -0,0204 0,0198 0,0052 0,0154 0,0198 0,0176 0,0256 0,0225 0,0225 0,0207 0,0206 0,0098	0,0005 -0,0458 -0,0482 0,0167 -0,0271 -0,0003 -0,0238 0,0047 -0,0019 0,0042 0,0153 0,0144 0,0275 0,0307 0,0354 0,0411 0,0371	0,0006 -0,0462 -0,0504 0,0116 -0,0276 -0,0091 -0,0182 -0,0027 0,0006 0,0007 0,0161 0,0157 0,0339 0,0333 0,0474 0,0516 0,0523

PUCARA

TRAMO :	PAUTE - RIOBAMBA		PAUTE - TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQU	E AL EJE (pu)	
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0031 0,1346 -0,1038 -0,0251 0,0423 -0,0089 0,0515 -0,0843 0,0240 0,0509 -0,0021 0,0214 -0,0189 0,0296 0,0290 0,0200	0,0030 0,1345 -0,1001 -0,0350 0,0415 -0,0145 0,0710 -0,0716 -0,0078 0,0528 0,0065 0,0350 -0,0201 0,0123 0,0123 0,0189	0,0031 0,1023 -0,1360 -0,0083 0,0469 -0,0291 0,0369 -0,0718 0,0109 0,0593 -0,0205 0,0148 -0,0040 0,0244 0,0244 0,0258	0,0034 0,1299 -0,1473 0,0313 0,0274 -0,0465 0,0254 -0,0544 0,0579 -0,0041 -0,0353 0,0483 0,0060 0,0328 0,0099 0,0289 0,0533

AGOYAN

TRAMO :	PAUTE RIOBAMBA		PAUTE - TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQUI	E AL ÈJE (pu)	
0 0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	-0,0189 0,2413 -0,1274 0,0538 0,0529 -0,1163 0,1051 -0,0486 0,0311 0,0049 -0,0341 0,0654 -0,0183 0,0240 0,0171 -0,0058 0,0298	0,0028 0,2396 -0,1280 0,0422 0,0738 -0,1253 0,0971 -0,0347 0,0160 0,0417 -0,0469 0,0572 -0,0039 0,0090 0,0266 -0,0167 0,0253	0,0059 0,7083 -0,2675 0,1091 0,0849 -0,2461 0,1963 -0,0632 0,0007 0,0794 -0,0835 0,1120 0,0154 0,0048 0,0842 0,0013 0,0647	0,0065 0,7813 -0,2589 0,1257 -0,0098 -0,1672 0,2096 -0,1354 0,0544 0,0211 -0,0230 0,1132 -0,0471 0,0907 0,0543 0,0261 0,0838

D.1 c) DEMANDA MINIMA

PAUTE OSCILANTE

TRAMO :	PAUTE - RIOBAMBA		PAUTE - TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS
TIEMPO (Seg.)		TORQU	E AL EJE (pu)	
0,00 0,50 1,00 1,50 2,00 2,50 3,00 3,50 4,00 4,50 5,00 5,50 6,00 6,50 7,00 7,50 8,00	0,0018 0,1412 0,0377 0,0091 -0,0251 0,0159 0,0120 -0,0142 0,0123 0,0087 -0,0073 0,0053 0,0058 -0,0048 0,0007 0,0022 -0,0038	0,0018 0,4351 0,0492 -0,0024 -0,0220 0,0186 0,0061 -0,0127 0,0148 0,0046 -0,0075 0,0075 0,0075 0,0037 -0,0052 0,0022 0,0014 -0,0041	0,0018 0,5051 0,0416 -0,0044 -0,0157 0,0122 0,0011 -0,0107 0,0117 0,0021 -0,0055 0,0084 0,0049 -0,0003 0,0068 0,0055 0,0012	0,0018 0,5287 0,0413 -0,0051 -0,0137 0,0122 -0,0001 -0,0092 0,0114 0,0010 -0,0046 0,0046 0,0046 0,0042 0,0003 0,0054 0,0019

PAUTE

TRAMO :	PAUTE -	RIOBAMBA	PAUTE - I	OTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS	
TIEMPO (Seg.)		TORQUE AL EJE (pu)			
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8	0,0030 0,1743 0,0392 0,0191 -0,0220 0,0041 0,0181 -0,0033 0,0029 0,0088 0,0039 0,0015 0,0029 0,0031 0,0014 -0,0007 0,0004	0,0030 0,5334 0,0635 0,0085 -0,0295 0,0105 0,0189 -0,0078 0,0035 0,0107 0,0015 0,0015 0,0032 -0,0002 -0,0001 0,0014	0,0030 0,6192 0,0590 0,0007 -0,0247 0,0104 0,0114 -0,0102 0,0040 0,0084 0,0002 0,0024 0,0063 0,0061 0,0047 0,0049 0,0060	0,0030 0,6475 0,0596 -0,0011 -0,0233 0,0121 0,0104 -0,0100 0,0045 0,0078 -0,0003 0,0025 0,0059 0,0059 0,0055 0,0065	

GONZALO ZEVALLOS

TRAMO :	PAUTE -	RIOBAMBA	PAUTE - TOTORAS		
SINCRONIZ.	PAUTE	RIDBAMBA	FAUTE	TOTORAS	
TIEMPO (Seg.)		TORQUE	E AL EJE (pu)		
0,5 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 4,5 5,6 5,6 5,6 5,6 5,6 5,6 5,6 5,7 7,5 8	0,0005 0,1130 -0,0540 0,0495 -0,0430 0,0320 0,0175 0,0040 0,0150 0,0285 0,0000 0,0080 0,0070 -0,0075 -0,0125 -0,0125 -0,0220	0,0005 0,0825 -0,0545 0,0490 -0,0720 0,0325 0,0145 -0,0040 0,0205 -0,0035 0,0055 -0,0115 -0,0135 -0,0205	0,0005 0,1000 -0,0530 0,0540 -0,0645 0,0120 -0,0060 -0,0230 0,0045 0,0030 -0,0055 0,0085 0,0170 0,0115 0,0200 0,0165	0,0010 0,1075 -0,0460 0,0500 -0,0600 0,0075 -0,0070 -0,0255 0,0030 -0,0020 -0,0075 0,0160 0,0120 0,0120 0,0220 0,0220 0,0200	

PUCARA

TRAMO :	PAUTE - RIDBAMBA		PAUTE - TOTORAS		
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS	
TIEMPO (Seg.)		TORQUE	E AL EJE (pu)		
0,5 1,5 2,5 3,4 4,5 5,6 4,5 5,6 6,7 7,8	0,0030 0,3040 -0,1890 -0,2890 0,1600 -0,0220 -0,0260 0,1280 -0,0280 -0,0280 -0,0280 -0,0290 -0,0050 0,0290 -0,0030 -0,0180 0,0050	0,0030 0,0110 -0,3860 -0,2550 0,2710 -0,0070 -0,0390 0,0850 -0,0750 -0,0750 -0,0750 -0,0750 -0,0120 -0,0120 -0,0098 0,0140 -0,0090 -0,0040 0,0130	0,0040 -0,0220 -0,3330 -0,2870 0,1100 -0,0020 0,0280 0,0730 -0,1050 -0,0550 0,0630 0,0130 -0,0040 0,0140 -0,0080 0,0070 0,0350	0,0040 -0,0510 -0,3360 -0,2740 0,1070 0,0030 0,0420 0,0620 -0,1090 -0,0470 0,0620 0,0080 -0,0080 -0,0080 0,0130 -0,0080 0,0140 0,0360	

,

AGOYAN

TRAMO :	PAUTE -	RIDBAMBA	PAUTE -	TOTORAS	
SINCRONIZ.	PAUTE	RIOBAMBA	PAUTE	TOTORAS	
TIEMPO (Seg.)		TORQUE	EAL EJE (pu)		
0,51 1,22535455545758 2,3455545758 7,8	0,0033 0,2783 -0,0454 -0,0415 0,0979 -0,0227 -0,0442 0,0469 0,0054 -0,0151 0,0222 0,0013 -0,0078 0,0123 0,0023 -0,0051	0,0033 0,3637 -0,0600 -0,0354 0,0918 -0,0472 -0,0326 0,0565 -0,0013 -0,0146 0,0203 -0,0028 -0,0028 -0,0028 -0,0044 0,0141 -0,0054 0,0178	0,0033 0,4042 -0,0569 -0,0159 0,0824 -0,0496 -0,0304 0,0442 -0,0058 -0,0059 -0,0059 -0,0059 -0,0059 -0,0022 0,0168 0,0036 0,0014 0,0094	0,0033 0,4128 -0,0546 -0,0099 0,0776 -0,0503 -0,0260 0,0422 -0,0072 -0,0051 -0,0078 -0,0067 -0,0004 0,0164 0,0031 0,0024 0,0095	

.

10

CUADRO D.2 TORQUES (pu) A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS DEL SNI DEBIDO A LA SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV. (CASOS RECOMENDADOS)

D.2 a) TRAMO: STA. ROSA - STO. DOMINGO

	DEMANDA:	MEDIA - DESDE:	STD. DOMINGO		
TIENPO	PAUTE OSC.	PAUTE	G. VEVALLOS	PUCARA	AGOYAN
0	0,0022	0,0024	0,0005	0,0035	0,0027
0,5	0,4360	0,4470	-0,0073	0,5340	0,3853
1	-0,0100	-0,0076	-0,0824	0,0243	0,0354
1,5	-0,0086	-0,0074	0,0306	0,0390	-0,0052
2	0,0127	0,0111	-0,0115	-0,0225	-0,0314
2,5	-0,0102	-0,0105	-0,0026	0,0070	0,0390
3	0,0074	0,0086	0,0094	-0,0303	-0,0107
3,5	0,0011	0,0018	-0,0128	0,0373	-0,0048
4	-0,0052	-0,0057	0,0058	0,0330	0,0124
4,5	0,0085	0,0080	-0,0092	-0,0475	-0,0110
5	-0,0028	-0,0021	0,0040	-0,0080	0,0132
5,5	0,0022	0,0028	-0,0044	0,0185	0,0028
6	0,0052	0,0048	0,0027	0,0120	-0,0084
6,5	-0,0003	-0,0005	-0,0015	0,0100	0,0135
7	0,0052	0,0056	0,0029	-0,0190	0,0004
7,5	0,0040	0,0043	0,0021	0,0040	0,0028
8	0,0030	0,0030	0,0048	0,0233	0,0084

D.2 hl	TRAMO:	STR.	DONINGO	_	DUEVEDO
					3021200

	DEMANDA	: MEDIA	- DESDE:	SID, DOMINGO	
TIEMPO	PAUTE DSC.	PAUTE	G, YEVALLOS	PUCARA	AGDYAN
0	0,0022	0,0024	0,0005	0,0035	0,0027
0,5	0,4362	0,4491	-0,0082	0,5420	0,3916
1	-0,0053	-0,0026	-0,0437	0,001B	0,0214
1,5	-0,0064	-0,0053	0,0074	0,0308	-0,0011
2	0,0071	0,0053	-0,0007	-0,0130	-0,0221
2,5	-0,0056	-0,0060	-0,0111	0,0010	0,0230
3	0,0029	0,0044	0,0093	-0,0293	-0,0042
3,5	0,0010	0,0017	-0,0146	0,0178	-0,0027
4	-0,0039	~0,0046	0,0038	0,0278	0,0057
4,5	0,0048	0,0043	-0,0108	-0,0250	-0,0068
5	-0,0018	-0,0011	0,0013	-0,0160	0,0080
5,5	0,0015	0,0021	-0,0055	0,0035	0,0035
6	0,0040	0,0035	0,0009	0,0103	-0,0047
6,5	0,0016	0,0012	-0,0007	0,0128	0,0085
7	0,0052	0,0055	0,0034	-0,0093	0,0031
7,5	0,0054	0,0059	0,0043	0,0003	0,0049
8	0,0055	0,0055	0,0076	0,0180	0,0086

Pág.: D

11

D.2 c)	TRAMO:	QUEVEDO -	- PASCUALES

	DEMAND	A: MEDIA	- DESDE QUEVI	EDO
TIEMPO	PAUTE OSC.	PAUTE	6. VEVALLOS	AGDYAN
0	0,0021	0,0023	0,0005	0,0028
0,5	0,4014	0,4135	-0,0122	0,3434
1	0,0081	0,0104	0,0215	-0,0123
1,5	-0,0049	-0,0033	-0,0179	0,0163
2	-0,0010	-0,0018	0,0155	-0,0034
2,5	0,0035	0,0022	-0,0194	-0,0112
3	-0,0066	-0,0051	0,0041	0,0123
3,5	0,0012	0,0027	-0,0144	-0,0036
4	-0,0021	-0,0019	-0,0026	-0,0035
4,5	-0,0020	-0,0028	-0,0104	0,0042
5	0,0025	0,0020	-0,0037	-0,0045
5,5	-0,0007	-0,0001	-0,0066	0,0065
6	0,0020	0,0026	-0,0009	0,0010
6,5	0,0053	0,0049	-0,0005	0,0008
7	0,0047	8,1753	0,0054	0,0102
7,5	0,0088	0,0088	0,0079	0,0055
8	0,0089	0,0095	0,0126	0,0088

D.2	d) TRAMO:	PASCUAL	ES - MILAGRO		
	DEMANDA	A: NINIMA	- MILAGRO		
TIEMPO	PAUTE OSC.	PAUTE	G, VEVALLOS	PUCARA	AGOYAN
0	0,0014	0,0024	0,0002	0,0008	0,0027
0,5	0,5632	0,6767	-0,1435	0,2500	0,4223
1	0,0752	0,0903	-0,2125	-0,0323	0,0020
1,5	-0,0386	-0,0234	0,1089	-0,0603	-0,0273
2	0.0139	0,0031	-0,0672	0,040B	0,0618
2,5	-0,0038	-0,0130	0,0406	0,0043	-0,0313
3	0,0118	0,0234	-0,0207	-0,0033	-0,0188
3,5	-0,0123	-0,0051	0,0113	-0,0023	0,0252
4	0,0112	0,0005	-0,0045	-0,0118	0,0124
4,5	0,0074	0,0069	0,0086	-0,0058	-0,0092
5	-0,0004	0,0105	0,0040	0,0193	0,0096
5,5	0,0050	0,0038	0,0084	0,0108	0,0101
6	0,0117	0,0057	0,0100	-0,0050	0,0018
6,5	0,0038	0,0095	0,0078	0,003B	0,0101
7	0,0029	0,0083	0,00B7	0,0123	0,0104
7,5	0,0070	0,0044	0,0079	0,0070	0,0018
8	0,0033	0,0039	0,0056	0,0075	0,0046
	-	·	-		·

D.2 e) TRAND: MILAGRO - PAUTE

DEMANDA: MINIMA - DESDE NILAGRO

TIEMPD	PAUTE DSC.	PAUTE	G. VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	AGOYAN
0	0,0009	0,0026	0,0001	0,0008	0,0000	0,0027
0,5	0,4317	0,6093	-0,1545	0,1758	0,0659	0,3458
1	0,0813	0,1060	-0,2373	-0,0323	-0,1731	0,0011
1,5	-0,0533	-0,0174	0,1204	-0,0555	0,0309	-0,0212
2	0,0286	-0,0005	-0,0723	0,0443	-0,0497	0,0605
2,5	-0,0021	-0,0113	0,0494	-0,0005	0,0413	-0,0317
3	0,0072	0,0375	-0,0170	-0,0035	-0,0041	-0,0096
3,5	-0,0055	-0,0091	0,0133	0,0008	0,0228	0,0265
4	0,0168	-0,0018	0,0020	-0,006B	0,0006	0,0102
4,5	0,0005	0,0195	0,0101	0,0048	0,0322	-0,0027
5	0,0027	0,0105	0,0084	0,0188	0,0194	0,0090
5,5	0,0115	-0,0023	0,0105	0,0068	0,0291	0,0071
6	0,0057	0,0117	0,0123	-0,000B	0,0297	0,0070
6,5	0,0018	0,0128	0,00B8	0,0095	0,0275	0,0092
7	0,0064	0,0007	0,0079	0,0133	0,0200	0,0052
7,5	0,0025	0,0032	0,0041	0,0085	0,0134	0,0033
B	-0,0027	0,0059	0,0003	0,0033	0,0025	0,0037

D.2	f) TRAMD:	PAUTE	- R10BAMBA			
	DEMANDA	I: MEDIA	- DESDE:	PAUTE		
TIEMPO	PAUTE OSC.	PAUTE	G. VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	AGDYAN
0	0,0019	0,0025	0,0006	0,0033	0,0013	0,0026
0, 5	0,4221	0,4553	-0,0431	0,0643	-0,5772	0,2691
1	0,0837	0,0882	-0,0416	-0,3128	-0,4413	-0,1335
1,5	-0,0401	-0,0332	0,0208	0,0093	0,3403	0,0586
2	-0,0052	-0,0050	-0,0261	0,1190	-0,2888	0,0492
2,5	0,0351	0,0283	0,0198	-0,0735	0,1944	-0,1192
3	-0,0280	-0,0256	-0,0176	0,1075	-0,0771	0,1025
3,5	0,0277	0,0327	0,0217	-0,1418	-0,0103	-0,0280
4	0,0034	0,002B	0,0070	0,0310	0,1441	0,0087
4,5	0,0002	-0,0022	0,0071	0,1228	-0,0728	0,0341
5	0,0239	0,0245	0,0213	-0,0323	0,0797	-0,0417
5,5	-0,0064	-0,0026	0,0079	0,0310	0,0356	0,0514
6	0,0149	0,0155	0,0194	-0,0348	0,0856	-0,0023
6,5	0,0072	0,0054	0,0118	0,0355	-0,0169	-0,0026
7	-0,0017	-0,0007	0,0082	0,0688	0,0372	0,0196
7,5	0,0075	0,0099	0,0073	-0,0225	0,0025	-0,0159
8	-0,0078	-0,006B	-0,0030	0,0030	-0,0388	0,0158

.

,

D.2g)	TRAND:	PAUTE	-	TOTORAS
-------	--------	-------	---	---------

DEMANDA: MEDIA – DESDE: PAUTE

TIENPO	PAUTE OSC.	PAUTE	G. VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	AGOYAN
0	0,0017	0,0024	0,0005	0,0035	0,0013	0,0027
0,5	0,4073	0,4491	-0,0169	0,0560	-0,6097	0,2762
1	0,0862	0,0922	-0,0420	-0,2990	-0,4694	-0,1399
1,5	-0,0426	-0,0331	0,0228	-0,0338	0,3497	0,0765
2	0,0004	-0,0002	-0,0222	0,0995	-0,2691	0,0436
2,5	0,0319	0,0231	0,0169	0,0070	0,2141	-0,1195
3	-0,0298	-0,0257	-0,0186	0,1240	-0,1278	0,1053
3,5	0,0316	0,0379	0,0222	-0,1945	0,0097	-0,0449
4	-0,0022	-0,0031	0,0054	0,0048	0,1197	0,0323
4,5	0,0060	0,0027	0,0122	0,1040	-0,0738	0,0235
5	0,0218	0,0229	0,0193	0,0293	0,1231	-0,0421
5,5	-0,0081	-0,0031	0,0098	0,0608	-0,0028	0,0568
6	0,0195	0,0174	0,0196	-0,0683	0,0369	-0,0146
6,5	0,0023	0,0002	0,0097	0,0203	0,0731	0,0136
7	0,0011	0,0027	0,0088	0,0490	-0,0281	0,0116
7,5	0,0062	0,0087	0,0066	0,0033	0,0484	-0,0178
8	-0,0070	-0,0082	-0,0030	0,0225	-0,0125	0,0213

0.2 h) TRAMO: RIOBAMBA - TOTORAS

	DEMANDA	NED1A	-	DESDE:	RIOBAMBA		
TIENPO	PAUTE OSC.	PAUTE	6.	VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	AGOYAN
0	0,0017	0,0024		0,0003	0,0019	0,0035	0,002B
0,5	0,4535	0,5012		-0,0176	-0,7350	0,0988	0,3440
1	0,0750	0,0835		-0,0360	-0,4575	-0,2803	-0,1059
1,5	-0,0407	-0,0327		0,0151	0,3603	0,0218	0,0595
2	0,0042	0,0014		-0,0222	-0,2938	0,0980	0,0192
2,5	0,0217	0,0145		0,0058	0,1894	-0,0446	-0,0899
3	-0,0260	-0,0206		-0,0176	-0,1459	0,0480	0,0930
3,5	0,0243	0,0296		0,0113	0,0200	-0,1450	-0,0402
4	-0,0039	-0,0059		0,0003	0,0816	0,0845	0,0189
4,5	0,0071	0,0041		0,0073	-0,0681	0,0818	0,0144
5	0,0185	0,0203		0,0171	0,1094	-0,0505	-0,0212
5,5	-0,0027	0,0018		0,0113	0,0059	0,0230	0,0514
6	0,0213	0,0207		0,0240	0,0475	-0,0093	-0,0137
6,5	0,0087	0,0067		0,0192	0,0869	0,0738	0,0149
7	0,0100	0,0117		0,0235	0,0222	0,0378	0,0193
7,5	0,0128	0,0155		0,0220	0,0950	-0,0120	-0,0008
Ð	0,0013	0,0021		0,0151	0,0309	0,0410	0,0221

Pág.: D 14

D.2 i) TRAMO: TOTORAS - STA. ROSA

DEMANDA: MEDIA - DESDE: TOTORAS

TIEKPO	PAUTE OSC.	PAUTE	6. VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	AGOYAN
0	0,0012	0,0024	0,0005	0,0035	0,0007	0,0026
0,5	0,3538	0,4360	-0,0674	0,6815	-0,8616	0,5380
1	0,0071	0,0268	-0,1290	-0,0765	-0,5981	0,0359
1,5	-0,0161	-0,0083	0,0695	-0,0610	0,1419	0,0171
2	0,0234	0,0134	-0,0360	0,1080	-0,0141	-0,0039
2,5	-0,0036	-0,0047	0,0246	0,1225	0,0709	-0,0026
3	0,0016	0,0123	-0,0148	-0,0455	-0,0019	0,0070
3,5	0,0040	0,0059	0,0066	-0,1040	0,0194	0,0077
4	0,0072	0,0017	0,0071	0,0128	-0,0044	0,0094
4,5	0,0132	0,0140	0,0173	0,0618	0,0266	-0,0010
5	0,0130	0,0195	0,0215	0,0148	0,0719	0,0159
5,5	0,0065	0,0079	0,0141	-0,0075	0,0559	0,0179
6	0,0086	0,0054	0,0134	0,0170	0,0322	-0,0026
6,5	0,0021	0,0039	0,007B	0,0320	0,0144	0,0039
7	0,0004	0,0043	0,0076	-0,0005	0,0074	0,0065
7,5	-0,0004	-0,0003	-0,0005	-0,0013	0,0071	0,0007
9	-0,006B	-0,0075	-0,0085	0,0193	-0,0153	-0,0030

15

CUADRO D.3 TORQUES (pu) A LOS EJES DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS DEL SNI DEBIDO A LA SINCRONIZACION DEL ANILLO DE 230 KV. EN LOS TRAMOS MAS CRITICOS

D.3 a) TRAMO: PASCUALES - MILAGRO

DENANDA: MAXIMA - DESDE: PASCUALES

TIEMPO	PAUTE OSC,	PAUTE	6. VEVALLOS	PUCARA	S. ROSA	GUANGOPOLO	AGOYAN
0	0,0006	0,0023	0,0027	0,0071	0,0009	0,0572	0,0026
0,5	0,4055	0,5475	0,0447	0,3544	0,2739	0,3346	0,3136
1	0,0951	0,1165	-0,4405	0,0086	-0,2289	0,0042	-0,0052
i,5	-0,0725	-0,0400	0,1871	-0,0358	0,0722	0,0415	-0,0411
2	0,0087	-0,0010	-0,1079	0,0465	-0,0709	0,0292	0,0791
2,5	0,0252	-0,0084	0,0296	-0,0184	0,0344	0,0335	-0,0749
3	-0,0206	-0,0014	0,0064	0,0485	0,0020	0,0412	0,0429
3,5	-0,0008	0,0233	-0,0057	0,0053	-0,0152	0,0377	0,0074
4	0,0277	0,0170	0,0299	-0,0113	0,0538	0,0404	-0,0194
4,5	0,0061	-0,0044	0,0132	0,0255	0,0242	0,0469	0,0522
5	0,0187	0,0280	0,0344	0,0103	0,0469	0,0477	-0,0017
5,5	0,0122	0,0254	0,0234	0,0253	0,0648	0,0538	0,0060
6	0,0061	0,0030	0,0312	0,0374	0,0417	0,0585	0,0337
6,5	0,0233	0,0113	0,0239	0,0135	0,0502	0,0588	-0,0057
7	0,0019	0,0067	0,0182	0,0205	0,0380	0,0623	0,0142
7,5	-0,0039	0,0067	0,0095	0,0146	0,0066	0,0604	0,0107
8	0,0035	0,0004	-0,0014	0,0015	0,0006	0,0565	-0,0136

D.3	b) TRAMO:	PAUTE	- MILAGRO		
	Demanda	: MEDIA	- DESDE:	MILAGRO	
TIEMPO	PAUTE OSC.	PAUTE	6. VEVALLOS	PUCARA	AGOYAN
0	0,0001	0,0024	0,0003	0,0035	0,0027
0,5	0,2359	0,4582	-0,1997	0,4320	0,3168
1	0,0736	0,1014	-0,3966	-0,0678	-0,0092
i,5	-0,0792	0,0037	0,1912	-0,0888	-0,0145
2	0,0452	-0,0109	-0,1516	0,0948	0,0489
2,5	0,0068	-0,0162	0,1015	-0,0153	-0,0557
3	-0,0274	0,0521	-0,0640	0,0145	0,0454
3,5	0,0284	-0,0082	0,0500	-0,0745	-0,0051
4	0,0163	-0,0010	-0,0009	0,0678	0,0217
4,5	-0,0112	0,0359	0,0263	0,0755	0,0132
5	0,0318	0,0150	0,0220	-0,0213	-0,0060
5,5	0,0047	-0,0061	0,0242	0,0300	0,0409
6	0,0120	0,0298	0,0221	0,0178	-0,0039
6,5	0,0072	0,0120	0,0177	0,0435	0,0017
7	0,0028	-0,0071	0,0104	0,0333	0,0216
7,5	0,0052	0,0044	0,0029	-0,0230	-0,0111
8	-0.0155	-0.0016	-0.0093	0.0133	0.0007
ANEXO E

Diagramas Torque vs. Tiempo de

los resultados del ANEXO D.



Pág.: E 1





З





en demenda minima, desde Milagro





sincronizacion entre Paute - Milagro

en demande minima, desde Milegro



























ANEXO F

Torques máximos a los ejes de las máquinas del SNI debido a la maniobra de sincronización.

- CUADRO F TORQUES MAXIMOS A LOS EJES DE LAS MAQUINAS DEL SNI DEBIDO A LA SINCRONIZACION DEL ANILLO DE 230 KV. CASOS RECOMENDADOS
- a) CASO BASE:

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: PAUT PAUTE ▲8=24.7°	TE – RIOBAMBA DEMANDA MEDIA AV=1.4%
UNIDAD	TORQUE MAXII (pu)	PICO 10
PAUTE OSCILANTE PAUTE REGULAD. G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO	0.140 0.143 0.135 -) 3 5
AGOYAN	0.240)

b) SINCRONIZACION EN DIFERENTES PUNTOS DEL ANILLO DE 230 KV

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: S. ROSA – S. DOMINGO S. DOMINGO DEMANDA MEDIA ▲δ=16.2° ▲V=4.00%
UNIDAD	TORQUE PICO MAXIMO (pu)
PAUTE OSCILANTE	0.436
PAUTE REGULAD.	0.450
G. ZEVALLOS	-
PUCARA	0.532
STA. ROSA	_
GUANGOPOLO	-
AGOYAN	0.390

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: PASCU MILAGRO ≰δ=31.5°	JALES - MILAGRO DEMANDA MINIMA AV=3.9%
UNIDAD	TORQUE I MAXIM((pu)	21C0
PAUTE OSCILANTE PAUTE REGULAD.	0.56 3 0.680	
G. ZEVALLOS		
STA. ROSA	0.250	
GUANGOPOLO	_	
AGOYAN	• 0.422	

.

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: MILAGRO - PAUTE MILAGRO DEMANDA MINIMA $4\delta=29.4^{\circ}$ $4V=4.2\%$
UNIDAD	TORQUE PICO MAXIMO (pu)
PAUTE OSCILANT	E 0.4 3 2
PAUTE REGULAD	0.610
G. ZEVALLOS	0.120
PUCARA	0.180
STA. ROSA	-0.173
GUANGOPOLO	_
AGOYAN	0.346

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: S. DOMINGO - QUEVEDO S. DOMINGO DEMANDA MEDIA Aδ=9.90° AV=0.90%
UNIDAD	TORQUE PICO MAXIMO (pu)
PAUTE OSCILANTE	0.436
PAUTE REGULAD.	0.450
G. ZEVALLOS	-
PUCARA	0.542
STA. ROSA	
GUANGOPOLO	
AGOYAN	0.392

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO:QUEVEDOPASCUALESQUEVEDODEMANDAMEDIAΔδ=6.6°ΔV=1.90
UNIDAÐ	TORQUE PICO MAXIMO (pu)
PAUTE OSCILANTE	0.400
PAUTE REGULAD.	0.414
G. ZEVALLOS	
PUCARA	-
STA. ROSA	-
GUANGOPOLO	-
AGOYAN	0.392

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: PAUTE PAUTE $\Delta \delta = 26.4^{\circ}$	S - RIOBAMBA DEMANDA MEDIA AV=7.0%
UNIDAD	TORQUE I MAXIMO (pu)	21 C O
PAUTE OSCILANTE PAUTE REGULAD. G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	2 0.422 0.455 -0.313 0.340 -0.270	

.

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: PAUTI PAUTE $A\delta = 27.5^{\circ}$	E - TOTOPDEMANDA $AV=7.2%$	RAS MEDIA
UNIDAD	TORQUE MAXIM((pu)	?ICO)	
PAUTE OSCILANTE PAUTE REGULAD G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	2 0.407 0.450 -0.300 0.350 -0.280		

•

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: TOTO RIOBAMBA ≩δ=24.8°	RAS - RIOBAMBA DEMANDA MEDIA AV=1.5%
UNIDAD	TORQUE MAXIM((pu)	21CO)
PAUTE OSCILANTE	0.453	
PAUTE REGULAD.	0.500	
G. ZEVALLOS	_	
PUCARA	-0.280	
STA. ROSA	0.360	
GUANGOPOLO	_	
AGOYAN	0.344	,

.

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: TOTO TOTORAS $\Delta \delta = 26.9^{\circ}$	RAS – S. DEMANDA ▲V=2.4%	ROSA MEDIA
UNIDAD	TORQUE MAXIM (pu)	PICO D	
PAUTE OSCILANTH PAUTE REGULAD. G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	2 0.354 0.436 -0.130 0.682 0.142 0.538		

c) SINCRONIZACION EN LOS TRAMOS DE OPERACION CRITICA.

SINCRONIZACION:	TRAMO:	PASCU	ALES -	– Ľ	IIIAGRO
DESDE:	PASCUAL	ES	DEMAN	DA	MAXIMA
	1 δ=34.4	1°	▲V= 9_	5%	

TORQUE PICO MAXIMO (pu)

PAUTE OSCILANTE	0.410
PAUTE REGULAD.	0.548
G. ŻEVALLOS	0.187
PUCARA	0.354
STA. ROSA	0.274
GUANGOPOLO	0.334
AGOYAN	0.538

UNIDAD

SINCRONIZACION: DESDE:	TRAMO: MILA PAUTE $\delta = 39.0^{\circ}$	GRO – PAU DEMANDA AV=4.0%	JTE MEDIA
UNIDAD	TORQUE MAXIM((pu)	PICO D	
PAUTE OSCILANTE PAUTE REGULAD. G. ZEVALLOS PUCARA STA. ROSA GUANGOPOLO AGOYAN	0.236 0.459 0.191 0.432 - - 0.317		

ANEXO G

,

Diagramas fasoriales y Ecuaciones de la máquina Sincrónica, Diagramas de bloque de los Motores Primarios Representación de la Excitatriz, del programa de Estabilidad.

.

.

DIAGRAMAS FASORIALES Y ECUACIONES DE LA MAQUINA SINCRONICA

Cada modelo matemático que representa la máquina sincrónica consiste de un sistema de ecuaciones algebráicas y diferenciales. Las ecuaciones algebráicas resultan de los diagramas fasoriales que relacionan las condiciones internas y externas de la máquina.

MODELO 1

Es la representación clásica de la máquina sincrónica para estudios de estabilidad. La ecuación diferencial a resolverse únicamente es la de la aceleración.



Fig. G.1 Diagrama fasorial del modelo 1

d²δ		180f		
	=		(Tm	 Te)
dt2		н		

MODELO 2

Este modelo representa los efectos de campo y del circuito del hierro en el eje en cuadratura. En adición a las ecuaciones del diagrama fasorial de la fig. G.2, tenemos otras:



Fig G.2 Diagrama fasorial Modelo 2

e' = {e'q + j[e'a - (X'q - X'a)iq]}e^{js} e' es fasor pero e'q, e'a e iq son magnitudes de las variables.

$$\frac{de'_{q}}{dt} = \frac{1}{T'_{qo}}(E_{xd} - E_{I})$$

$$\frac{de'_{a}}{dt} = \frac{1}{T'_{qo}}(-E_{IKq})$$

$$E_{IKq} = e'_{q} + (X_{q} - X'_{q})i_{q}$$

$$E_{I} = e'_{q} + (X_{d} - X'_{d})i_{d} + AE_{I}$$

$$\frac{d_{2}\delta}{dt_{2}} = \frac{180f}{H}(Tm - Te)$$

Pág.: G 3

MODELO 3

Incluye los efectos de campo y de los dos circuitos de amortiguamiento de ambos ejes. Las ecuaciones adicionales a las del diagrama fasorial, son para los casos donde hay un circuito de amortiguamiento en cada eje y X⁻¹a igual a X⁻¹a.

$$\psi''a = \mu \kappa a + \left[\frac{X''a - X_1}{X'a - X_1} \right] (e'q - \psi \kappa a)$$

$$\frac{de'_{q}}{dt} = \frac{1}{T'_{do}} (E_{fd} - E_{I})$$

$$\frac{d\psi_{Kd}}{dt} = -\left[\frac{(X''_{d} - X_{I})^{2}}{(X'_{d} - X''_{d})T''_{do}}\right] (i_{Kd})$$

$$\frac{de''_{a}}{dt} = \frac{1}{T''_{qo}} (-E_{IKq})$$

$$E_{I} = e'_{q} + (X_{a} - X'_{a})(i_{a} - i_{Ka}) + AE_{I}$$

$$i_{Ka} = \frac{(X'_{a} - X''_{a})}{(X'_{a} - X_{1})^{2}} \left[\psi_{Ka} - e'_{q} + (X'_{a} - X_{1})i_{a} \right]$$

$$E_{IKq} = e''_{a} + (X_{q} - X''_{a})i_{q}$$

$$\frac{d^{2}\delta}{dt} = \frac{180f}{H} (Tm - Te)$$

▲EI = f(indice de saturación)

DIAGARAMAS DE BLOQUES DE LOS MOTORES PRIMARIOS



Fig. 6.4 Diagrama de bloques de la Turbina Hidráulica.

Pág.: G 5



Fig. 6.5 Diagrama de bloques de la Turbina a Vapor.

- 1 THP
- 2 TIP
- 3 TLP

REPRESENTACION DEL SISTEMA DE EXCITACION

La representación computacional está dada en términos de diagramas de bloque:

a) Saturación de la excitatriz



Fig 6.6

La correspondiente ecuación diferencial es:

 $T_{eer} = -K_{eer} - e^2 r F(ef) + V_r \qquad (G.1)$

Donde:

 $F(e_{f}) = Aexp(Be_{f})$ (G.2) $K_{e} = F(e_{f_{e}})$ (G.3)

Un circuito simple del sistema de excitación tenemos en la figura G.7





La operación de la excitatriz se describe:

 $T_{oef} = ef - R_{if} + V_r$

En estado estable el voltaje de la excitatriz es una función no linear de la corriente de campo if. La saturación es expresada como:

$$S(e_{f}) = (x-y)/y$$
 (G.4)

S es especificado para efmax y 0.75efmax.

Las constantes A y B de la ecuación G.2 se determinan de la siguiente forma:

$$A = S(e_{fmex})$$
(G.5)
$$B = S(.75e_{fmex})$$
(G.6)

b) Otras señales de entrada al regulador de voltaje

El programa admite otras dos señales a la entrada del regulador de voltaje.

La primera es la relación de cambio del voltaje terminal, representada por el diagrama de la figura G.8



Fig. G.8

La segunda señal es tomada de la desviación de la frecuencia de la velocidad sincrónica. La representación está indicada en la figura G.9

$$\frac{W}{K_{w}} = \frac{1 + \alpha T_{w}S}{1 + T_{w}S} = \frac{Z_{w} + \sum}{\sum}$$

fig. G.9
ΑΝΕΧΟ Η

Curvas estimativas de fatiga: Torque vs. Número de ciclos para la falla de los ejes de las Unidades del SNI.

Resultados de fatiga.

.

Pág.: H 1

TABLA H.1 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DEL EJE DE LAS MAQUINAS DEL SNI UTILIZADOS PARA CONSTRUIR LAS CURVAS T-N.

EJE DE PAUTE

Material:	Aleación ferrosa
Radio:	0.39 m.
Resistencia a la deformación (σο):	12500 psi.
Reducción de área (q):	10 %
Exponente Resistencia-Esfuerzo (n):	0.95
Exponente de facilidad de fatiga (c):	-0.58
$n^{-} = 0.53$	

EJE DE GONZALO ZEVALLOS

Material:	Acero alta T°(Ni-Mo-V)
Radio:	0.1143 m.
Resistencia a la deformación (σο):	45000 psi.
Reducción de área (q):	10 %
Exponente Resistencia-Esfuerzo (n):	0.80
Exponente de facilidad de fatiga (c):	-0.50
$n^{-} = 0.257$	

EJE DE PUCARA

Material:	Aleación de acero	
	(C-Mg-Si)	
Radio:	0.23 m.	
Resistencia a la deformación (σο):	19000 psi.	
Reducción de área (g):	10 %	
Exponente Resistencia-Esfuerzo (n):	0.8	
Exponente de facilidad de fatiga (c):	-0.50	
$n^{-} = 0.410$		

EJE DE SANTA ROSA

Material:	Aleación de acero
	(C-Mg-Si)
Radio:	0.0508.
Resistencia a la deformación (σο):	120000 psi.
Reducción de área (g):	35 %
Exponente Resistencia-Esfuerzo (n):	0.51
Exponente de facilidad de fatiga (c):	-0.50
n' = 0.2153	

Pág.: H 3

EJE DE GUANGOPOLO

Debido a sus características, la curva de fatiga se la puede tormar semejante a la de Gonzalo Zevallos

EJE DE AGOYAN

La curva de fatiga se la puede tomar como semejante a la de Paute. A pesar de que el material del eje de Agoyán es de acero forjado al carbón, el radio es casi igual (0.39 m. Paute y 0.4 m. Agoyán) y el comportamiento visto ante los torques producidos por la sincronización y el recierre. Sin embargo los valores estimativos de sus parámetros son:

Material:	Acero forjado al
	carbón
Radio:	0.4 m.
Resistencia a la deformación (σο):	16000 psi.
Reducción de área (g):	10 %
Exponente Resistencia-Esfuerzo (n):	0.95
Exponente de facilidad de fatiga (c):	-0.60
$n^{-} = 0.3$	
Las curvas de fatiga se dan al final d	el anexo.

TABLA H.2 Porcentaje de pérdida de vida útil (%PV) de los ejes de las máquinas del SNI debido a sincronizacion del anillo de 230 kv.

TRAMO	TORQUE	No CICLOS	PERDIDA DE
	PICO MAX.	DE FALLA	VIDA UTIL
	(pu)	Nf (#)	%PV
PAUTE OSCILANTE			
PAUTE - RIOBAMBA C. BASE	0,14	9.50x10 ⁸	1.04x10-7
S. ROSA - S. DOMINGO	0,436	1.90x107	5.25x10-6
S. DOMINGO - QUEVEDO	0,436	1.90x107	5.25x10-6
QUEVEDO - PASCUALES	0,4	2.50x107	3.90x10-8
PASCUALES - MILAGRO	0,5632	7.90x10 ⁶	1.27x10-≞
MILAGRO - PAUTE	0,432	1.90x107	5.10x10-6
PAUTE - RIOBAMBA	0,422	2.10x107	4.70x10-6
PAUTE - TOTORAS	0,407	2.40x107	4.14x10-в
TOTORAS - RIOBAMBA	0,453	1.70x107	6.00x10-6
TOTORAS S. ROSA	0,354	3.90x107	2.56x10-e
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,41	2.30x107	4.20x10-в
MILAGRO - PAUTE (*)	0,236	1.50x10 ^B	6.32x10-7
PAUTE REGULADORA			
PAUTE - RIOBAMBA C. BASE	0,143	8.90x10 ⁸	1.12x10-7
S. ROSA - S. DOMINGO	0,45	1.70x107	5.80x10-s
S. DOMINGO - QUEVEDO	0,45	1.70x107	5.80x10-6
QUEVEDO - PASCUALES	0,414	2.30x107	4.40x10-6
PASCUALES - MILAGRO	0,68	4.10x10¢	2.40x10-5
MILAGRO - PAUTE	0,61	5.98x10 ^e	1.70x10-5
PAUTE - RIOBAMBA	0,4553	1.60x107	6.10x10-6
PAUTE - TOTORAS	0,45	1.70x107	5.80x10-8
TOTORAS - RIOBAMBA	0,5	1.20x107	8.40x10-6
TOTORAS S. ROSA	0,436	1.90x107	5.25x10-8
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,548	8.70x10 ⁶	1.20x10-5
MILAGRO – PAUTE (*)	0,459	1.60x107	6.30x10-s

(*) Corresponde a los tramos de operación crítica

:.

, **.**.

۲ ۲

TRAMO	TORQUE	No CICLOS	PERDIDA DE
	PICO MAX.	DE FALLA	VIDA UTIL
	(pu)	N£ (#)	%PV
GONZALO ZEVALLOS			
PASCUALES - MILAGRO	0,109	3.50x1014	2.90x10-13
MILAGRO - PAUTE	0,12	1.65x1014	6.06x10-13
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,187	5.17x1012	1.93x10-11
MILAGRO - PAUTE (*)	0,1912	4.35x1012	2.30x10-11
PUCARA			
PAUTE - RIOBAMBA C. BASE	0,135	1.42x10 ¹¹	7.04x10-10
S. ROSA - S. DOMINGO	0,534	1.70x10 ^B	5.80x10-7
S. DOMINGO - QUEVEDO	0,542	1.60x10 ^B	6.20x10-7
PASCUALES - MILAGRO	0,25	7.04x10 ⁹	1.42x10-8
MILAGRO - PAUTE	0,18	3.50x10 ¹⁰	2.90x10-11
TOTORAS - S. ROSA	0,682	5.30x10 ⁹	1.90x10-6
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,354	1.30x10 ⁹	7.80x10-8
MILAGRO - PAUTE (*)	0,432	4.90x10 ^B	2.05x10-7

(*) Corresponde a los tramos de operación crítica

. ,

Pág.: H 6

TRAMO	TORQUE	No CICLOS	PERDIDA DE
	PICO MAX.	DE FALLA	VIDA UTIL
	(pu)	Nf (#)	%PV
SANTA ROSA			
PAUTE - TOTORAS (1)	0,35	1.85x1011	5.40x10-10
	0,21	1.43x1013	7.00x10-12
PAUTE - RIOBAMBA (1)	0,34	2.40x1011	4.21x10-10
	0,2	2.15x1013	4.63x10-12
PAUTE - TOTORAS (1)	0,35	1.85x1011	5.40x10-10
	0,21	1.43x1013	7.00x10-12
TOTORAS - RIOBAMBA (1)	0,36	1.46x1011	6.84x10-10
	0,19	3.34x1013	3.00x10-12
TOTORAS - S. ROSA	0,142	4.00x1014	2.52x10-13
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,274	1.50x1012	6.73x10-11
CTANGODOLO			
GUANGOPOLO		_	
PASCUALES MILAGRO (*)	0,334	5.61x1010	1.80x10-9
AGOYAN			
PAUTE - RIOBAMBA C. BASE	0,24	1.50x10 ^B	6.70x10-7
S. ROSA - S. DOMINGO	0,39	2.80x107	3.60x10-6
S. DOMINGO - QUEVEDO	0,392	2.70x107	3.64x10-в
QUEVEDO - PASCUALES	0,343	4.30x107	2.30x10−6
PASCUALES - MILAGRO	0,422	2.10x107	4.70x10-8
MILAGRO - PAUTE	0,346	4.20x107	2.36x10-₿
PAUTE – RIOBAMBA	0,27	9.95×10^{7}	1.00x10-8
PAUTE – TOTORAS	0,28	8.80x107	1.14x10-8
TOTORAS - RIOBAMBA	0,344	4.30x107	2.32x10-6
TOTORAS S. ROSA	0,538	9.20x106	1.10x10-5
PASCUALES - MILAGRO (*)	0,3136	5.90×10^{7}	1.70x10-6
MILAGRO – PAUTE (*)	0,317	5.70x107	1.75x10-8

(1) Dos torques máximos importantes

(*) Corresponde a los tramos de operación crítica.

TABLA H.3 Porcentaje de pérdida de vida útil del eje de Paute debido al recierre de una falla trifásica en un circuito del tramo: Paute - Milagro. Secuencia de tiempos:

.

.

Despeje 0.073 seg. (4.38 ciclos) Recierre 0.4542 seg. (27.25 ciclos)

Torque (pu)	No	Num. Ciclos para falla	%PV por ciclo	%PV Total
0.82	1	2.15 x 10 ⁶	4.64x10-5	4.64x10-5
0.70	3	3.72 x 10 ⁶	2.70x10-5	8.10x10-5
0.60	5	6.33 x 10 ⁶	1.60x10-5	8.00x10→5





de Paute y Agoyan

CURVA TORQUE vs. No DE CICLOS



Pág.: H 9

las maquinas de Gonzalo Zevallos y Guangopolo

CURVA TORQUE vs. No DE CICLOS



Pág.: H 10

mequina de Pucera

CURVA TORQUE vs. No DE CICLOS



maquina de Santa Rosa

BIBLIOGRAFIA

:

- [1] Botelho M., Almeida M., Lefebre P., Vera L., " INFLUENCIA DA DEFASAGEM ANGULAR NOS CHAVEAMIENTOS DE ANEIS NOS SISTEMAS DO TRANSMISSAO ", VI Seminario Nacional de Producción y transmisión de Energía Eléctrica. Brasil, 1981.
- [2] Krause P., Hollopeter W., " SHAFT TORQUES DURING OUT-OF-PHASE SYNCHRONIZATION ", IEEE, Julio 1977.
- [3] Joyce J., Kulig Tadeusz. " TORSIONAL FATIGUE ON TURBINE-GENERATOR SHAFT CAUSED BY DIFFERENT ELECTRICAL SYSTEM FAULTS AND SWITCHING OPERATIONS ". IEEE, Septiembre 1978.
- [4] Jackson M., Umans S., " TURBINE-GENERATOR SHAFT TORQUES AND FATIGUE: PART I -- SIMULATION METHODS AND FATIGUE ANALYSIS ", IEEE, Noviembre 1979.
- [5] IEEE Working Group Interim Report. " EFFECTS OF SWITCHING DISTURBANCES ON TURBINE-GENERATOR SHAFT SYSTEM ". IEEE, Septiembre 1982.
- [6] Aspragathos N., "THE EFFECTS OF SOME SYSTEM PARAMETERS ON THE FATIGUE LIFE REDUCTION OF TURBINE-GENERATOR SHAFTS DUE TO ELECTRICAL TRANSIENTS ", IEEE, Agosto 1984.
- [7] Argüello G., "ANALISIS Y CONTROL DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA ", EPN, 1988.
- [8] Philadelphia Electric Company, System Planning Division, "POWER FLOW PROGRAM, USER'S GUIDE". Departamento de Estudios Eléctricos INECEL - DOSNI, Junio 1971.
- [9] Detroit Co., " MANUAL DE ESTABILIDAD ", Departamento de Estudios Eléctricos INECEL - DOSNI

- [10] Young C., " EQUIPMENT AND SYSTEM MODELING FOR LARGE-SCALE STABILITY STUDIES "., General Electric Co.
- [11] Young C., " THE SYNCHRONOUS MACHINE ", IEEE, Tutorial Course.
- [12] Green D., Nilsson N., "IEEE SCREENING GUIDE FOR PLANNED STEADY-STATE SWITCHING OPERATIONS TO MINIMIZE HARMFUL EFFECTS ON STEAM TURBINE-GENERATOR ", IEEE, Julio 1980.
- [13] McGraw Hill, " MATERIALS IN DESING ENGINEERING ", Vol. 58, Octubre 1963.
- [14] Shigley E., " EL PROYECTO EN INGENIERIA MECANICA ", Universidad de Michigan, 1971.
- [15] Virgil M., " DESIGN OF MACHINE ELEMENTS ", USA, 1975.
- [16] Marks E., " MANUAL DEL INGENIERO MECANICO ", 1978.
- [17] Singer F., " RESISTENCIA DE MATERIALES ", Ed. Harla,
- [18] " MANUAL DE INSTRUCCION, PROYECTO HIDROELECIRICO PAUTE ", Superintendencia de Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [19] Mitsubishi Heavy Industries Ltd., " MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO PARA LA TURBINA DE AGOYAN ", Superintendencia De Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [20] " MANUAL DE INSTRUCCION DEL PROYECTO PUCARA ", Superintendencia De Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [21] " GAS TURBINE MANUAL STA. ROSA, Vol II, Superintendencia De Producción y Transporte INECEL - DOSNI.

- [22] " MANUAL DE INSTRUCCION DE GONZALO ZEVALLOS (SALITRAL) ", Superintendencia De Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [23] " LISTA DE PLANOS Y ACABADOS, CENTRAL TERMICA QUITO ", Superintendencia De Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [24] " OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL, ESMERALDAS ", Superintendencia De Producción y Transporte INECEL -DOSNI.
- [25] Molina M., "ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA Y CORTOCIRCUITOS DEL SNI ", Departamento de Estudios Eléctricos INECEL - DOSNI, Diciembre 1989.
- [26] " DATOS DEL SNI PARA 1991 ", Departamento de Estudios Eléctricos INECEL - DOSNI, 1991.
- [27] Molina M., " ANALISIS DINAMICO DEL SNI ", Departamento de Estudios Eléctricos INECEL - DOSNI, Noviembre 1991